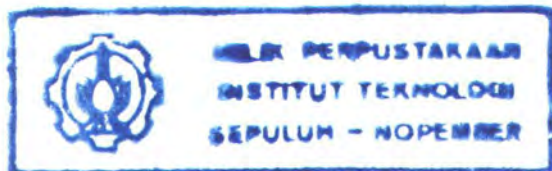
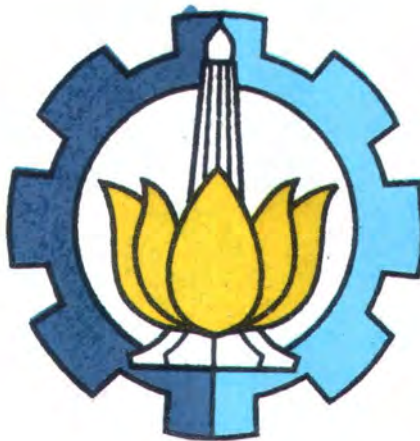


24809/H/06



TUGAS AKHIR
LL 1327

**EVALUASI BAKU MUTU AIR LAUT
UNTUK BAKTERI *ESCHERICHIA COLI* BERBASIS
RESIKO KESEHATAN DAN BIAYA PENGOLAHAN LIMBAH
DI DAERAH WISATA KEPULAUAN SERIBU JAKARTA**



RSKe
628.3
Man
E-1
2005

Oleh :

MAULIDIYAH
NRP. 4300 100 043

PERPUSTAKAAN I T S	
Tgl. Terima	6-8-2005
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	222982

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2005**

LEMBAR PENGESAHAN

EVALUASI BAKU MUTU AIR LAUT UNTUK BAKTERI *ESCHERICHIA COLI* BERBASIS RESIKO KESEHATAN DAN BIAYA PENGOLAHAN LIMBAH DI DAERAH WISATA KEPULAUAN SERIBU JAKARTA



Nama : MAULIDIYAH
NRP : 4300 100 043

Surabaya, 4 Agustus... 2005

Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I

Dr. Ir. Mukhtasor, MEng
NIP. 132 105 583

Pembimbing II

Dr. Ir. Daniel M. Rosyid
NIP. 131 782 038

Ketua Jurusan Teknik Kelautan



Ir. Imam Rochani, MSc
NIP. 131 417 209

ABSTRAK

Oleh : Maulidiyah

Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Mukhtasor, M. Eng dan Dr. Ir. Daniel M. Rosyid

Sebagai lokasi wisata yang banyak dikunjungi wisatawan, kawasan Kepulauan Seribu berpotensi untuk menimbulkan dampak negatif, seperti kontaminasi perairan dengan mikroorganisme patogen dari limbah domestik yang dapat menimbulkan resiko kesehatan pada manusia. Untuk itu kondisi suatu perairan dapat dinilai dengan baku mutu spesifik apakah masih memenuhi persyaratan lingkungan atau tidak. Dalam penelitian ini, dilakukan evaluasi konsentrasi mikroorganisme patogen dengan indikator bakteri *Escherichia coli* di perairan dengan menghitung biaya pengolahan dan pembuangan limbah domestik; dan biaya kerusakan lingkungan yang terdiri dari biaya resiko gastroenteritis (penyakit saluran pencernaan) dan biaya yang hilang akibat penurunan kunjungan wisatawan. Konsentrasi optimum didapatkan dari kondisi keseimbangan biaya-biaya tersebut. Konsentrasi mikroorganisme patogen di perairan dihitung dengan menggunakan perangkat lunak *Cormix-GI* versi 4.3. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa biaya pengolahan dan pembuangan limbah diperkirakan berkisar antara 0,314 hingga 0,552 miliar rupiah. Resiko *gastroenteritis* mencapai 0,023 dengan biaya rata-rata yang harus dikeluarkan sebesar 0,255 miliar rupiah serta biaya yang hilang akibat penurunan jumlah wisatawan adalah sebesar 0.18 miliar rupiah. Hasil optimasi menunjukkan konsentrasi optimum bakteri *E. coli* di perairan Kepulauan Seribu adalah 103/100 hingga 130/100 ml. Nilai ini masih dibawah baku mutu air laut yang berlaku di Indonesia, yaitu 200/100 ml. Hasil ini menunjukkan bahwa baku mutu air laut yang digunakan di Kepulauan Seribu dapat lebih diperketat, selain untuk menjaga kelestarian lingkungan dan menimbulkan resiko kesehatan yang lebih kecil, juga akan meningkatkan dunia usaha dan akhirnya peningkatan perekonomian lokal secara keseluruhan.

Kata-kata kunci: baku mutu air laut, pariwisata, limbah domestik, resiko kesehatan, pengolahan limbah.

ABSTRACT

Oleh : Maulidiyah

Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Mukhtasor, M. Eng dan Dr. Ir. Daniel M. Rosyid

As a recreation area which has been visited by a lot of tourist, Kepulauan Seribu has a potency to make negative effect, like contamination of pathogenic microorganism from sewage which can impact health risk on human being. The quality of water can be controlled with water quality standard. The objective of this research is to provide a method to estimate the optimum concentration of microorganism pathogen with *Escherichia coli* as an indicator organism in the sea water based on analysis of wastewater treatment and disposal costs, and *gastroenteritis* (intestinal diseases) cost and opportunity cost because of tourism decline. The optimum concentration is estimated using the equilibrium point of intersection of each graphs. Microorganism concentration in the sea water is determined using a computer software, called *CORMIX-GI* version 4.3. Sewage treatment and disposal costs range from 0,314 to 0.552 billion of rupiahs. The *gastroenteritis* risk reach 0.023 with average cost of 0.255 billion of rupiahs and the opportunity cost because of tourism decline reach 0.18 billion of rupiahs approximately. The result shows that the optimum concentration of *E. coli* in the sea water body of Kepulauan Seribu range from 103/100 ml to 130/100 ml. This result is under water quality standar for recreational use in Indonesia. This is show that lower water quality standard may be to maintaining local coastal environment, protect human being and improve recreation industry and finally improve the local economy.

Key words : water quality standard, tourism, sewage, human health risk, wastewater treatment.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirrobbil'alam, tiada kata yang dapat terucapkan melainkan ungkapan sujud dan puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan anugerah, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Evaluasi Baku Mutu air Laut untuk Bakteri *Escherichia coli* Berbasis Resiko Kesehatan dan Biaya Pengolahan Limbah di Daerah Wisata Kepulauan Seribu Jakarta”.

Selain itu, penulis ingin menyampaikan rasa penghargaan dan ucapan terima kasih sedalam-dalamnya kepada semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, terutama kepada:

1. Ayahanda Tolcha dan Ibunda Nur Syifa', yang dengan tulus, sabar, ikhlas dan tiada henti-hentinya selalu mendampingi ananda dalam setiap doa dan langkahnya. *Ngapunten*, ananda baru bisa lulus sekarang.
2. Bapak Dr. Ir. Mukhtasor, M. Eng, selaku dosen pembimbing I, yang dengan sabar telah memberikan pengarahan dan bimbingannya selama proses penulisan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Danel M. Rosyid, selaku dosen pembimbing II, yang telah memberikan saran dan masukan dalam proses penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr.Ir.Imam Rochani, MSc, selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS.
5. Bapak Dr.Ir.Handayanu,MSc, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS.
6. Bapak Prof. Dr. W. A. Pratikto, Bapak Dr. Ir. Wahyudi, Bapak Ir. Rudy W., Bapak Dr. Ir. Haryo D. Armono, selaku dosen wali penulis, yang memberikan dorongan, pengarahan dan bimbingan pada penulis semasa kuliah.
7. Bapak-bapak dosen Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS yang telah memberikan pengalaman, pengetahuan dan ilmunya kepada penulis semasa kuliah.
8. Pak Teguh, Pak Man, Bu Lies, Bu Nur, serta seluruh karyawan dan staf Jurusan Teknik Kelautan, atas segala bantuan dan informasi-informasi “penting” yang telah diberikan, *matur nuwun sanget*.

9. Keluarga besar ku untuk *support* dan doanya: Mbah Jamilah (*matur nuwun sanget...Mbah*), Cik Kudrotin, Cik Zubaidah dan keluarga di Kalimantan, Ami Achmad Wijaya, Ami Miftahillah, *my lovely sisters*: Mbak Lia dan Dik Nia (aku sayang kalian...) dan yang selalu nemenin tapi ngerecokin sekaligus ngangenin, Ferdian Indra Daffa Seismick (*le...Mbak Dhia kangen...*).
10. Teman-teman seperjuangan 2000, yang udah lulus duluan: Santi, D-phe, "Mama"Yayuk, Mila; yang lulus bareng: Rury, Lilik, Indah Prasadha, Sita; Winda (cepatan nyusul ya...), Dhani (jangan lupa undangannya!!), Sofyan (*thanks a lot...*), Jaclani (kuncinya cuma sabar dan berdoa), Estu (makasih banget buat bantuannya), Joko dan Dwi Susi (trim's atas diskusinya), Eko, Deni, Catur, Handy, Aries, Fajar, Dedi, Jazil, Wisnu, Rendi, Oscar, Syam, Eja', Dodon, Fandi, Totok, Kusuma, Bambang, Lister, Aan, Erfan, Muji, Dwi P., Dodot, Alif, Chukong, Arifin, Fatchul, Sony. Thanks sobat, atas kenangan dan kebersamaannya di kampus "*biru*" ITS. Aku berharap kita semua bisa sukses dan tetap menjalin tali silaturahmi (walaupun hanya dalam doa).
11. Mas-mas serta mbak-mbak (yang nggak bisa disebutin satu per satu), yang dari mulai jamannya pengkaderan sampai sekarang (terima kasih atas diskusi, bantuan dan ngobrolnya...), Ruby (makasih buat doa dan perhatiannya), *plus* rekan'01 yang lain (yang nggak bisa juga disebutin satu demi satu), Bea, atas pinjaman bukunya.
12. Abang, yang selalu datang dan selalu juga pergi, terima kasih....buat semuanya.
13. Serta berbagai pihak yang tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu, dimana dengan caranya masing-masing telah membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari keterbatasan kemampuan diri, karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran dalam rangka penyempurnaan tugas akhir ini. Akhir kata, sekali lagi penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu dan mendukung penyelesaian tugas akhir ini.

Surabaya, Juli 2005

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
Abstrak	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iv
Daftar Tabel	vii
Daftar Gambar	ix
Daftar Lampiran	xi
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengelolaan Pesisir Terpadu	6
2.2 Pencemaran Laut	6
2.3 Limbah Domestik (<i>Sewage</i>)	8
2.4 Mikroorganisme	9
2.4.1 Mikroorganisme Patogen	9
2.4.2 Kontaminasi Mikroorganisme Patogen di Perairan	10
2.5 Penilaian Resiko Kesehatan Masyarakat	11
2.4.1 Identifikasi Macam Bahaya	11
2.4.2 Penilaian Dosis-Respon	11
2.4.3 Penilaian Paparan	12
2.4.4 Penilaian Resiko	12
2.5 Tingkat Resiko Kontaminasi Mikroorganisme Patogen	13
2.6 Pengolahan Limbah	13

2.6.1 Proses Penanganan Dasar (<i>preliminary treatment</i>)	14
2.6.2 Proses Penanganan Primer (<i>primary treatment</i>)	14
2.6.3 Proses Penanganan Sekunder (<i>secondary treatment</i>)	15
2.6.4 Proses Penanganan Tersier (<i>tertiary treatment</i>)	16
2.7 Pembuangan Limbah (<i>Sewage Disposal</i>) dengan <i>Outfall</i>	17
2.7.1 <i>Single Submerged Pipe Outfall</i>	18
2.7.2 Dilusi/Pengenceran	18
2.7.3 Pemodelan <i>Ocean Outfall</i>	21
2.8 Biaya Pengendalian Pencemaran Lingkungan	22
2.8.1 Valuasi Ekonomi	24
2.8.2 Perubahan Nilai Mata Uang	25
2.9 Baku Mutu Air Laut	26

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Literatur dan Pengumpulan Data	30
3.2 Estimasi Volume Limbah Industri Pariwisata	30
3.3 Estimasi Konsentrasi Mikroorganisme Patogen dengan Indikator <i>E. coli</i>	30
3.4 Pemodelan <i>Ocean Outfall</i>	31
3.4.1 CORMIX Data Input	31
3.4.2 CORMIX Output	32
3.5 Perhitungan Biaya Penanganan Limbah	32
3.6 Penilaian Resiko Kesehatan	33
3.6.1 Identifikasi Macam Bahaya	33
3.6.2 Penilaian Dosis-Respon	33
3.6.3 Penilaian Paparan	33
3.6.4 Penilaian Resiko	33
3.7 Perhitungan Biaya Resiko	33
3.7.1 Perhitungan Biaya Resiko <i>Gastroenteritis</i>	33
3.7.2 Perhitungan Biaya akibat Penurunan Wisatawan	34
3.8 Evaluasi Baku Mutu Air Laut	34

BAB 4. KEADAAN UMUM WILAYAH KEPULAUAN SERIBU

4.1 Pemilihan Lokasi Penelitian	35
4.2 Karakteristik Biofisik	35
4.3 Kondisi Oseanografi	38
4.3.1 Batimetri	38
4.3.2 Pasang Surut	39
4.3.3 Arus	40
4.3.4 Gelombang	40
4.4 Kualitas Perairan Laut	41
4.5 Kondisi Pariwisata	42

BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Volume Limbah Domestik dan Konsentrasi <i>E. coli</i> yang Terkandung	45
5.2 Analisis Biaya Penanganan Limbah Domestik	48
5.2.1 Analisis Biaya Pengolahan Limbah	48
5.2.2 Analisis Biaya Pembuangan Limbah melalui <i>Outfall</i>	53
5.3 Penilaian Resiko Kesehatan Masyarakat	57
5.3.1 Identifikasi Macam Bahaya	57
5.3.2 Penilaian Dosis-Respon	59
5.3.3 Penilaian Paparan	60
5.3.4 Penilaian Resiko	62
5.4 Perhitungan Resiko <i>Gastroenteritis</i>	62
5.5 Analisa Biaya Resiko	63
5.5.1 Analisa Biaya Resiko <i>Gastroenteritis</i>	64
5.5.2 Analisa Biaya Resiko Penurunan Jumlah Wisatawan	66
5.6 Evaluasi Baku Mutu Air Laut	71

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan	76
6.2 Saran	76

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2-1 Mikroorganisme Patogen pada <i>UK Recreational Water</i>	10
2-2 Parameter Biaya	26
2-3 <i>North American Standards</i>	28
2-4 <i>European Standards</i>	28
2-5 Baku Mutu Air Laut untuk Wisata Bahari	28
4-1 Konstituen Pasang Surut di Kepulauan Seribu	40
4-2 Kualitas Perairan Laut di Kepulauan Seribu Tahun 2001	42
4-3 Pulau Wisata di Kepulauan Seribu, Pengelola dan Lokasinya	43
4-4 Data Kunjungan Wisatawan ke Kepulauan Seribu Tahun 1995-2001	43
5-1 Jumlah Fasilitas Akomodasi Wisata Kepulauan Seribu	45
5-2 Volume Rata-rata Limbah Domestik yang Dihasilkan Residensial	46
5-3 Volume Limbah dari Fasilitas Rekreasi di Amerika Serikat	46
5-4 Pencemaran Air dari Sumber Domestik Propinsi Jawa Timur Tahun 1995	47
5-5 Parameter yang Digunakan dalam Penentuan Volume Limbah Domestik yang Dihasilkan di Pulau Bidadari	48
5-6 Perubahan <i>Total coliform</i> dengan Pengolahan Limbah	51
5-7 Metode dan Biaya Pengolahan Limbah Domestik	51
5-8 Estimasi Hasil dan Total Biaya Pengolahan Limbah Domestik	52
5-9 Ambien Data Input	53
5-10 Effluen Data Input	54
5-11 Discharge Data Input	54
5-12 Konsentrasi <i>E. coli</i> di Perairan setelah melalui <i>Outfall</i>	55
5-13 Estimasi Biaya Konstruksi <i>Outfall</i>	55
5-14 Estimasi Hasil dan Total Biaya Penanganan Limbah	56
5-15 Koefisien Korelasi Tingkat <i>Gastroenteritis</i> akibat Berenang dengan Densitas Indikator pada <i>Marine</i> dan <i>Fresh Water</i>	59
5-16 Resiko <i>Gastroenteritis</i> pada Wisatawan	63

5-17	Retribusi Pemeriksaan Hipotesa <i>Gastroenteritis</i>	65
5-18	Parameter Biaya <i>Gastroenteritis</i>	65
5-19	Estimasi Biaya <i>Gastroenteritis</i>	66
5-20	Data Kunjungan Wisatawan ke Kepulauan Seribu Tahun 1995-2003	68



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2-1	Diagram Alir Proses Kerja Tahapan Pengolahan Limbah 15
Gambar 2-2	Single <i>Buoyant Jet</i> pada Kondisi Perairan <i>Unstratified Crossflow</i> 17
Gambar 2-3	Grafik Hubungan antara Biaya Kerusakan Lingkungan dengan Tingkat Pencemaran 22
Gambar 2-4	Grafik Hubungan antara Biaya Pengolahan Limbah dengan Tingkat Pencemaran 23
Gambar 2-5	Grafik Optimasi Biaya dalam Pengendalian Pencemaran Lingkungan 23
Gambar 2-6	<i>Environmental Contamination vs Treatment and Damage Cost</i> 24
Gambar 3-1	Diagram Alir Penelitian 29
Gambar 3-2	Tampilan Salah Satu Data Input CORMIX-GI versi 4.3 31
Gambar 4-1	Pulau Jawa dan Kepulauan Seribu 36
Gambar 4-2	Pulau Bidadari 37
Gambar 5-1	Grafik Hubungan antara Konsentrasi <i>E. coli</i> di Perairan dengan Biaya pengolahan Limbah 56
Gambar 5-2	Sel-sel <i>Escherichia coli</i> dan Koloni <i>E. coli</i> pada <i>EMB Agar</i> 58
Gambar 5-3	Grafik Hubungan antara Dosis-Respon akibat <i>Enterococci</i> 60
Gambar 5-4	Konsentrasi Mikroorganisme Patogen dengan Jarak Penyebaran Effluen 61
Gambar 5-6	Hubungan Konsentrasi <i>E. coli</i> di Perairan dengan Resiko <i>Gastroenteritis</i> pada Wisatawan 63
Gambar 5-7	Hubungan Konsentrasi <i>E. coli</i> di Perairan dengan Biaya yang Harus Dikeluarkan oleh Penderita <i>Gastroenteritis</i> 66
Gambar 5-8	Komposisi Kunjungan Wisatawan ke Kepulauan Seribu 68
Gambar 5-9	Hubungan antara Konsentrasi <i>E. coli</i> di Perairan dengan Biaya Kerusakan Lingkungan di Kepulauan Seribu 70

Gambar 5-10	Kondisi Keseimbangan antara Biaya Penanganan Limbah dan Biaya Kerusakan Lingkungan	71
gambar 5-11	Pengaruh Jumlah Wisatawan terhadap Konsentrasi <i>E. Coli</i> di Perairan dan Biaya Penanganan Limbah	72

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

- 1 Laju Inflasi di Amerika Serikat
- 2 *Summary Report* CORMIX-GI versi 4.3
- 3 *Output* CORMIX-GI versi 4.3



BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Selama dekade 1990-an, sektor pariwisata telah memberi kontribusi yang signifikan bagi peningkatan Produk Domestik Bruto (PDB) di banyak negara. Pada tahun 1996, pariwisata memberikan pemasukan uang US\$ 3,5 trilyun dan menyerap 225 juta orang pekerja. Pada tahun 1997 sebanyak 595 juta orang melakukan perjalanan wisata di seluruh dunia dengan persentase terbesar berupa wisata pesisir (IATA, 2001 dalam Contoh Rencana Strategis Pengelolaan Terpadu Teluk Balikpapan dan Peta-peta Pilihan, 2003).

Pariwisata dapat memberikan banyak manfaat sosial, ekonomi dan bahkan dapat menunjang pembangunan di bidang lingkungan hidup, akan tetapi juga bisa memberikan dampak negatif. Salah satu dampak negatif yang ditimbulkan adalah pencemaran air. Pencemaran air merupakan salah satu masalah serius yang bisa mengganggu tidak saja kesehatan manusia dan lingkungan melainkan juga mempengaruhi beberapa kegiatan ekonomi seperti perikanan atau sektor pariwisata itu sendiri.

Kepulauan Seribu, sebagai salah satu lokasi wisata yang banyak dikunjungi oleh wisatawan nusantara maupun wisatawan mancanegara, akan ditingkatkan sektor pariwisata lautnya oleh Pemerintah DKI Jakarta dari 10% pulau yang ada menjadi 70% berdasarkan Peraturan Pemerintah Daerah Nomor 6 Tahun 1999 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Daerah Khusus DKI Jakarta di Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu (Munawari, 2003).

Peningkatan fungsi kawasan alami menjadi objek wisata berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap kawasan itu sendiri apabila tidak dipertimbangkan atau diperhitungkan dengan matang, terutama dampak limbah yang dihasilkan oleh industri pariwisata berupa limbah organik yang merupakan media yang cocok untuk

perkembangan mikroorganisme patogen. Beberapa mikroorganisme yang bersifat patogen beresiko menimbulkan penyakit terhadap manusia seperti *Escherichia coli* (enteropathogenic) dan rotavirus (Steel dan McGhee, 1979; USEPA, 2002).

Konsentrasi mikroorganisme patogen di perairan berkaitan juga dengan proses pengolahan limbah yang dilakukan dan akan berpengaruh terhadap biaya yang harus dikeluarkan oleh industri. Hal ini dikarenakan masing-masing jenis pengolahan limbah mempunyai spesifikasi baik secara kualitas maupun biayanya. Biaya pengolahan limbah sangat tergantung jenis pengolahan yang dilakukan. Semakin kecil konsentrasi mikroorganisme patogen yang diharapkan di perairan maka akan semakin tinggi pula biaya yang akan dikeluarkan.

Permasalahan ini menjadi penting bagi kawasan perairan yang diperuntukkan sebagai tempat pariwisata dan rekreasi. Industri perhotelan dan industri penunjang pariwisata lainnya yang berada di sekitar kawasan tersebut akan membuang limbahnya (*sewage*) ke laut sebagai tempat pembuangan akhir. Padahal, seiring dengan semakin bervariasinya olah raga air seperti renang, selam, selancar, layar, kano dan lain-lain maka semakin banyak pula manusia yang menggunakan perairan untuk beraktivitas, baik untuk kegiatan olah raga maupun rekreasi. Hal tersebut secara otomatis meningkatkan standar kualitas kimiawi dan mikrobiologi dari suatu perairan.

Meskipun pengendalian pencemaran air berdasarkan peraturan kualitas buangan (*the end-of-pipe approach*) dari masing-masing sumber dapat dikendalikan dan telah diatur dalam peraturan perundang-undangan (Kepmen LH No.52 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Hotel), namun kualitas air perairan tetap perlu dikendalikan dari akumulasi limbah dari berbagai sumber yang ada (*ambient water quality approach*). Kondisi perairan ini dapat dinilai dengan baku mutu spesifik untuk perairan laut/pantai (Kepmen LH No. 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut) apakah masih memenuhi persyaratan lingkungan atau tidak.

Standar kualitas perairan dirancang untuk melawan potensi penyakit akibat penggunaan perairan (Cabelli, 1983). Di Indonesia, pengelolaan kualitas air dan pengendalian

pencemaran air melalui penetapan baku mutu air laut diselenggarakan dengan pendekatan ekosistem dan belum memperhitungkan resiko potensi penyakit akibat penggunaan perairan (PP RI No. 82 tahun 2001). Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi baku mutu air laut dengan memperhitungkan resiko kesehatan dan biaya pengolahan limbah.

Penelitian secara khusus mengenai penentuan konsentrasi optimum polutan di perairan berdasarkan resiko kesehatan dan biaya pengolahan limbah telah dilakukan oleh Hartoyo (2003), dalam penelitiannya tentang optimasi biaya pengolahan logam berat dan biaya resiko kontaminasi karsinogen di wilayah pesisir Kenjeran. Penelitiannya tersebut menyajikan suatu metode dalam memperkirakan konsentrasi optimum kadmium (Cd) dan merkuri (Hg) di perairan berdasarkan analisis biaya pengolahan limbah dan biaya resiko karsinogen.

Selain itu, Munawari (2003) dalam penelitiannya tentang penanganan limbah domestik di daerah wisata Kepulauan Seribu Jakarta, menemukan bahwa konsentrasi *E. coli* pada raw sewage di Pulau Ayer dan Pulau Bidadari berkisar antara 2400 sampai 4800 per 100 ml. Konsentrasi yang sangat tinggi ini akan sangat mencemari air laut apabila langsung, tanpa pengolahan, dibuang ke laut.

Melihat uraian hasil penelitian terdahulu di atas, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui konsentrasi optimum mikroorganisme patogen dengan indikator bakteri *E. coli* di daerah wisata Kepulauan Seribu Jakarta berbasis resiko kesehatan dan biaya pengolahan limbah. Nilai ini nantinya akan digunakan dalam evaluasi baku mutu air laut untuk kawasan yang digunakan sebagai pariwisata dan rekreasi sebagai salah satu usaha perencanaan pembangunan sesuai dengan konsep pengelolaan pesisir terpadu (*integrated coastal management*).

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang masalah yang telah diuraikan di atas, maka permasalahan yang ada dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Apakah baku mutu air laut yang digunakan di daerah wisata Kepulauan Seribu Jakarta sudah merupakan standar yang optimal?
2. Berapakah resiko kesehatan akibat kontaminasi mikroorganisme patogen pada pengunjung daerah wisata Kepulauan Seribu?
3. Berapakah biaya yang harus dikeluarkan akibat kontaminasi mikroorganisme patogen dan berapa pula biaya pengolahan limbah yang harus dikeluarkan?
4. Berapakah konsentrasi optimum mikroorganisme patogen dengan indikator bakteri *E. coli* di daerah wisata Kepulauan Seribu Jakarta?

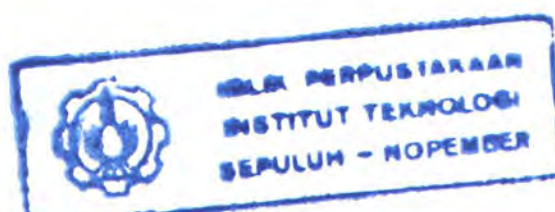
1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang ada, maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengevaluasi baku mutu air laut yang digunakan di daerah wisata Kepulauan Seribu Jakarta.
2. Menentukan secara kuantitatif resiko kesehatan akibat kontaminasi mikroorganisme patogen pada pengunjung daerah wisata Kepulauan Seribu.
3. Menentukan secara kuantitatif biaya yang harus dikeluarkan akibat kontaminasi mikroorganisme patogen dan biaya pengolahan limbah.
4. Menentukan nilai konsentrasi optimum mikroorganisme patogen dengan indikator bakteri *E. coli* di daerah wisata Kepulauan Seribu Jakarta.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah mengetahui konsentrasi optimum mikroorganisme patogen dengan indikator bakteri *E. coli* di perairan laut untuk pariwisata dan rekreasi. Nilai ini dapat digunakan sebagai informasi dan masukan bagi para perencana dan pengambil keputusan khususnya lembaga/instansi pemerintah serta pihak-pihak terkait, dalam penentuan kebijakan pengelolaan sumberdaya wilayah pesisir dan lautan terutama dalam penanggulangan pencemaran sehingga dapat dicapai hasil pembangunan yang optimum, dimana terdapat keseimbangan antara produktivitas lautan dengan kelestarian lingkungan.



Selain itu, didapatkan metode alternatif penanganan limbah yang sesuai dengan kondisi lokal, dengan lebih mempertimbangkan biaya akibat resiko lingkungan dan biaya pengolahan limbah, sehingga nantinya dapat menjaga keseimbangan lingkungan dan tidak menimbulkan bahaya kesehatan pada manusia. Sedangkan sebagai manfaat akademis, selesainya penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan masukan atau informasi untuk penelitian lebih lanjut bagi para mahasiswa Jurusan Teknik Kelautan, khususnya dalam bidang lingkungan dan energi lautan.

1.5 Ruang Lingkup

- ❑ Baku mutu air laut yang akan ditentukan dalam penelitian ini adalah baku mutu air laut untuk pariwisata dan rekreasi (mandi, renang dan selam).
- ❑ Penentuan baku mutu air laut adalah dengan memperkirakan konsentrasi optimum organisme indikator di perairan, dalam hal ini bakteri *E. coli*.
- ❑ Jenis penyakit pada penelitian ini dibatasi pada penyakit saluran pencernaan (*intestinal diseases/gastroenteritis*).
- ❑ Jenis limbah dibatasi pada limbah domestik yang berasal dari industri pariwisata/fasilitas rekreasi berupa fasilitas penginapan seperti: resort, cottage atau hotel.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelolaan Pesisir Terpadu (*Integrated Coastal Management*)

Pengelolaan Wilayah Pesisir secara Terpadu (*Integrated Coastal Zone Management*) adalah pengelolaan pemanfaatan sumber daya alam dan jasa-jasa lingkungan (*environmental services*) yang terdapat di kawasan pesisir; dengan cara melakukan penilaian menyeluruh (*comprehensive assesment*) tentang kawasan pesisir beserta sumber daya alam dan jasa-jasa lingkungan yang terdapat di dalamnya, menentukan tujuan dan sasaran pemanfaatannya; guna mencapai pembangunan yang optimal dan berkelanjutan. Proses pengelolaan ini dilaksanakan secara kontinyu dan dinamis dengan mempertimbangkan segenap aspek sosial ekonomi budaya dan aspirasi masyarakat pengguna kawasan pesisir (*stakeholders*) serta konflik kepemilikan dan konflik pemanfaatan kawasan pesisir yang mungkin ada (Sorensen dan Mc Creary, 1990; IPCC, 1994 dalam Dahuri dkk., 2001).

Dalam pelaksanaan pembangunan dituntut adanya koordinasi berbagai aktifitas dari dua atau lebih sektor dalam perencanaan pembangunan serta keterpaduan pengetahuan yang bersifat teoritis dan pengelolaan yang bersifat praktis guna mempertahankan lingkungan yang sehat dan dinamis dalam sebuah konsep pengelolaan pesisir terpadu (*integrated coastal management*). Untuk itu dibutuhkan penyusunan sebuah perencanaan kebijakan yang komprehensif, yang memperhatikan aspek resiko kesehatan dan biaya pengolahan limbah dalam menetapkan nilai baku mutu air laut untuk suatu perairan.

2.2 Pencemaran Laut

Seiring dengan semakin berkembangnya teknologi kelautan, maka mau tidak mau penerapan teknologi kelautan akan membawa serta dampak langsung dan tidak langsung terhadap masyarakat dan lingkungan. Dampak tidak langsung dari kegiatan penerapan teknologi kelautan meliputi dampak sosial ekonomi yang dipacu oleh

tersedianya barang dan jasa dengan nilai tambah lebih tinggi. Sedangkan dampak langsung penerapan teknologi kelautan berupa dampak lingkungan, yaitu dampak yang disebabkan oleh adanya hasil samping pada proses transformasi sumberdaya untuk peningkatan nilai tambah (Mukhtasor, 2003).

Hasil samping tersebut seringkali disebut limbah, yang umumnya dipandang tidak mempunyai nilai tambah, dan oleh karenanya dibuang ke lingkungan (khususnya lingkungan laut). Keberadaan limbah di suatu lingkungan akan meningkatkan beban ekosistem dan merugikan kepentingan masyarakat. Kerugian tersebut mencakup penurunan kualitas lingkungan, tingkat kesehatan dan ekonomi masyarakat. Secara sederhana, penurunan kualitas lingkungan laut ini dikaitkan dengan apa yang disebut dengan pencemaran laut.

Secara lebih spesifik, Undang-undang No. 23 Tahun 1997 mendefinisikan pencemaran laut sebagai masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam lingkungan laut oleh kegiatan manusia, sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan laut tidak dapat berfungsi sesuai peruntukannya.

Sumber bahan pencemaran perairan laut dapat dibagi atas dua jenis, yaitu (Dahuri dkk., 2001) :

1. *Point sources*, yaitu sumber pencemaran yang dapat diketahui dengan pasti keberadaannya. Contoh: pencemar yang bersumber dari hasil buangan pabrik atau industri.
2. *Non point sources*, yaitu sumber pencemaran yang tidak dapat diketahui dengan pasti keberadaannya. Contoh: buangan rumah tangga, limbah pertanian, sedimentasi serta bahan pencemar lain yang sulit dilacak sumbernya.

Selain itu, sumber pencemaran pesisir dan lautan dapat dikelompokkan menjadi tujuh kelas, yaitu: industri, limbah cair pemukiman (*sewage*), limbah cair perkotaan (*urban stormwater*), pertambangan, pelayaran (*shipping*), pertanian dan perikanan budi daya. Bahan utama yang terkandung dalam buangan limbah dari ketujuh sumber tersebut

berupa: sedimen, unsur hara (nutrien), logam beracun, pestisida, organisme eksotik, organisme patogen, sampah dan *oxygen depleting substances* (bahan-bahan yang menyebabkan oksigen yang terlarut dalam air laut berkurang) (Dahuri dkk., 2001).

2.3 Limbah Domestik (*sewage*)

Limbah domestik (*sewage*) adalah air buangan dari residen/rumah tangga, institusi, fasilitas komersial, dan fasilitas-fasilitas lain yang sejenis, yang bervariasi kuantitas dan komposisinya dari waktu ke waktu. Limbah ini mengandung bahan organik dan anorganik yang berbentuk cair, suspensi, atau koloid. Setiap mililiter dari limbah domestik ini biasanya mengandung jutaan sel mikroba, dan kebanyakan mengandung bakteri yang berasal dari saluran pencernaan (Frazier *et al.*, 1950).

Menurut Fakhri (2000), limbah domestik terbagi dalam dua kategori, yaitu pertama, limbah cair domestik yang berasal dari air cucian seperti sabun, deterjen, minyak dan pestisida, dan kedua adalah limbah padat yang berasal dari kakus seperti sabun, shampo, tinja dan air seni. Limbah cair domestik ini menghasilkan senyawa organik berupa protein, karbohidrat, lemak dan asam nukleat.

Dampak limbah organik ini umumnya disebabkan oleh dua jenis limbah cair yaitu deterjen dan tinja. Deterjen sangat berbahaya bagi lingkungan karena dari beberapa kajian menyebutkan bahwa deterjen memiliki kemampuan untuk melarutkan bahan bersifat karsinogen. Selain menimbulkan gangguan terhadap masalah kesehatan, kandungan deterjen dalam air akan menimbulkan bau dan rasa tidak enak. Sedangkan tinja merupakan pembawa berbagai macam penyakit bagi manusia.

Lebih lanjut dikatakan bahwa bagian yang paling berbahaya dari limbah domestik adalah mikroorganisme patogen yang terkandung dalam tinja, karena dapat menularkan beragam penyakit bila masuk tubuh manusia, dalam 1 gram tinja mengandung 1 milyar partikel virus infeksius, yang mampu bertahan hidup selama beberapa minggu pada suhu dibawah 10° C.

Menurut catatan Badan Kesehatan Dunia (WHO) dalam Fakhrizal (2000), air limbah domestik yang belum diolah memiliki kandungan virus sebesar 100.000 partikel virus infeksius setiap liter, lebih dari 120 jenis virus patogen yang terkandung dalam air seni dan tinja. Sebagian besar virus patogen ini tidak memberikan gejala yang jelas, sehingga sulit dilacak penyebabnya. Selain itu, terdapat 4 mikroorganisme patogen yang terkandung dalam tinja yaitu: virus, protozoa, cacing dan bakteri yang umumnya diwakili oleh jenis *Escherichia coli* (*E. coli*).

2.3 Mikroorganisme

Mikroorganisme sangat berperan dalam proses degradasi bahan buangan dari kegiatan industri yang dibuang ke air lingkungan, baik sungai, danau, maupun laut. Kalau bahan buangan yang harus didegradasi cukup banyak, berarti mikroorganisme akan ikut berkembang biak. Pada perkembangbiakan mikroorganisme ini tidak tertutup kemungkinan bahwa mikroorganisme patogen ikut berkembang biak pula. Mikroorganisme patogen adalah penyebab timbulnya berbagai macam penyakit (Wardana, 1995).

2.3.1 Mikroorganisme Patogen

Salah satu faktor yang mempengaruhi timbulnya penyakit pada manusia yang disebabkan mikroorganisme adalah sifat patogenitas mikroorganisme. Patogenitas sendiri didefinisikan sebagai kemampuan menimbulkan penyakit (Manik, 2003).

Lebih lanjut dikatakan bahwa sebagian besar mikroorganisme yang terdapat dalam air bersifat non-patogen, kecuali apabila air tersebut dicemari secara langsung oleh limbah/zat pencemar seperti misalnya limbah dari industri, air kemih dan tinja manusia atau hewan. Dan selanjutnya mikroorganisme patogen tersebut akan menyebar melalui air. Mikroorganisme patogen pada perairan yang diperuntukkan sebagai pariwisata dan rekreasi dapat dilihat pada Tabel 2-1.

Tabel 2-1. Mikroorganisme Patogen pada *UK Recreational Water*

Mikroorganisme Patogen	Jenis Penyakit	Tipe Perairan
<i>Aeromonas</i> spp.	Gastroenteritis, luka infeksi	<i>Fresh/marine</i>
<i>Campylobacter</i> spp.	Enteritis	<i>Fresh/marine</i>
<i>Clostridia</i> spp.	Botulism, Tetanus, Gas Gangrene, Gastroenteritis	<i>Fresh/marine</i>
<i>Cryptosporidia</i> spp.	Gastroenteritis	<i>Fresh/marine</i>
<i>Escherichia coli</i> (enteropathogenic)	Gastroenteritis	<i>Fresh/marine</i>
<i>Giardia</i> spp.	Gastroenteritis	<i>Fresh/marine</i>
<i>Legionella</i> spp.	Legionellosis	<i>Fresh</i>
<i>Leptospira</i> spp.	Leptospirosis	<i>Fresh</i>
<i>Plesiomonas</i> spp.	Gastroenteritis, Meningitis, Cellulitis	<i>Fresh/ estuarine occasionally marine</i>
<i>Pseudomonas</i> spp.	Follicular, Dermatitis, Outis externa	<i>Fresh/marine</i>
<i>Salmonella</i> spp.	Gastroenteritis, demam	<i>Fresh/marine</i>
<i>Shigella</i> spp.	Disentri	<i>Fresh/marine</i>
<i>Staphylococcus</i> spp.	Infeksi, Bacteraemia	<i>Fresh/marine</i>
<i>Vibrio</i> spp.	Kolera, luka infeksi	<i>Predominantly marine and estuarine</i>
<i>Yersinia</i> spp.	Gastroenteritis	<i>Fresh/marine</i>

Sumber : Fewtrell dan Jones, 1990

2.3.2 Kontaminasi Mikroorganisme Patogen di Perairan

Menurut *United State Environmental Protection Agency/USEPA* (1999) dalam Rubin (2001) dinyatakan bahwa limbah/zat pencemar dikategorikan berbahaya apabila mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- *Ignitability*, yaitu mudah terbakar atau dapat menimbulkan api
- *Corrosivity*, yaitu mempunyai kandungan asam dan basa yang tinggi atau mengandung substansi yang dapat mengakibatkan logam berkarat
- *Reactivity*, yaitu mempunyai daya reaksi yang keras atau dapat menimbulkan reaksi dengan air
- *Toxicity*, yaitu membahayakan suplay air dan kesehatan melalui uji laboratorium

Mikroorganisme patogen di perairan mempunyai karakteristik seperti disebutkan pada poin terakhir, mempunyai sifat toksigenisitas, yaitu kemampuan memproduksi toksin yang ikut serta dalam perkembangan penyakit (Manik, 2003).

2.4 Penilaian Resiko Kesehatan Masyarakat

Menurut Mukono (2000) dalam Hartoyo (2003), resiko lingkungan merupakan resiko terhadap kesehatan manusia yang disebabkan oleh faktor lingkungan, baik lingkungan fisik, hayati maupun sosial-ekonomi-budaya. Secara umum dapat dikatakan bahwa resiko lingkungan merupakan suatu faktor atau proses dalam lingkungan yang mempunyai kemungkinan (*probability*) tertentu untuk menyebabkan konsekuensi yang merugikan manusia dan lingkungannya. Penilaian resiko terbagi menjadi 4 (empat) tahap, yaitu :

2.4.1 Identifikasi Macam Bahaya

Identifikasi macam bahaya adalah suatu proses untuk menentukan bahan/zat/organisme yang berpengaruh terhadap kesehatan masyarakat. Masuknya limbah dalam perairan dapat menyebabkan perairan terkontaminasi bahan pencemar, yang apabila berlebihan, dapat membahayakan manusia. Ini merupakan kegiatan untuk menentukan perubahan yang terjadi dari sebuah proses yang dapat menyebabkan bahaya pada masyarakat (Gwendolyn et al., 1993 dalam Hartoyo, 2003). Tahap ini merupakan tahapan pertama dari prosedur kuantifikasi resiko kesehatan masyarakat.

Sedangkan menurut Rubin (2001), tujuan identifikasi macam bahaya adalah untuk menentukan apakah suatu bahan/zat/organisme dapat menyebabkan pertumbuhan penyakit atau perubahan kondisi kesehatan yang dapat diamati. Langkah ini didasarkan pada data-data yang tersedia dari studi laboratorium, studi pada binatang percobaan dan studi epidemiologi (berdasarkan observasi langsung). Hasilnya adalah evaluasi dan deskripsi efek yang mungkin dialami karena adanya bahan/zat/organisme tersebut.

2.4.2 Penilaian Dosis Respon

Menurut Harris (2001) dalam Hartoyo (2003), penilaian dosis respon merupakan suatu tahap untuk mengetahui mekanisme biologi dan hubungan dosis respon yang didasarkan pada efek-efek yang diobservasi dalam laboratorium atau untuk mengetahui apakah suatu studi epidemiologi menyediakan data di dalam proses penilaian. Penilaian dosis-respon menguji hubungan kuantitatif antara dosis dan efek-efek dari studi yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mendefinisikan efek yang berkaitan. Informasi

yang diperoleh kemudian digunakan bersama dengan informasi-informasi yang ada di lapangan untuk memperkirakan kemungkinan adanya efek-efek yang merugikan yang berpotensi menimbulkan resiko dalam suatu populasi.

Sementara itu menurut Mukhtasor dan Hartoyo (2004), hubungan dosis respon didefinisikan sebagai ekspresi matematis atau statistik antara intensitas pencemaran (dosis) dari suatu reseptor dan peluang (*probability*) terjadinya masalah kesehatan yang terjadi pada populasi reseptor (respon).

2.4.3 Penilaian Paparan

Penilaian paparan yaitu tahap untuk mengidentifikasi dan menghitung jumlah populasi yang terpapar serta lamanya suatu agen bekerja. Secara umum dapat dikatakan bahwa penilaian ini merupakan proses mengkuantifikasi dosis yang tepat yang dapat diterima pada situasi tertentu. Penilaian penyebaran bahan pencemar meliputi proses pengukuran atau estimasi konsentrasi bahan pencemar dalam lingkungan dimana masyarakat dimungkinkan dapat terkontaminasi (Rubin, 2001).

Menurut Harris (2000) dalam Hartoyo (2003), penilaian paparan merupakan tahapan untuk mengetahui tentang prinsip-prinsip, bentuk dan tingkat paparan yang terjadi pada manusia serta berapa banyak manusia yang beresiko akibat terjadinya pencemaran. Tujuannya adalah untuk mengukur atau mengestimasi frekuensi, intensitas dan durasi pencemaran pada manusia akibat kandungan bahan pencemar dalam lingkungan.

2.4.4 Penilaian Resiko

Resiko sering diartikan sebagai peluang dari konsekuensi (secara spesifik) yang tidak diinginkan (Rubin, 2001). Resiko juga didefinisikan sebagai perkalian antara peluang dari konsekuensi yang tidak diinginkan tersebut dengan ukuran suatu kerugian. Penilaian resiko merupakan gabungan dari ketiga tahap di atas yang menghasilkan perkiraan adanya masalah kesehatan masyarakat. Setelah melakukan identifikasi macam bahaya, penilaian dosis respon dan penilaian paparan, maka tahap selanjutnya adalah penilaian sifat dari resiko yang merupakan gabungan dari ketiga tahap sebelumnya (Hartoyo, 2003).

Sedangkan menurut Mukhtasor dan Hartoyo (2004), penilaian resiko merupakan tahapan akhir kajian resiko, dimana pada tahap ini hasil dari penilaian paparan dan dosis-respon diintegrasikan untuk menghasilkan kesimpulan tentang tingkat resiko kesehatan pada suatu kondisi atau skenario tertentu. Selama proses penilaian resiko, informasi toksisitas suatu zat spesifik serta hubungan dosis-respon dibandingkan dalam hal ukuran tingkat paparan kontaminan yang juga memperhitungkan tingkat produksi kontaminan dan proses perjalanan kontaminan tersebut sampai kepada target (resepto).

2.5 Tingkat Resiko Kontaminasi Mikroorganisme Patogen

Menurut studi USEPA oleh Cabelli et al. (1982) dalam Kay dan Wyer (1990), untuk mengkalkulasi resiko *gastroenteritis* (GI) akibat *enterococci* dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$y = 12,2 (\log_{10} x) + 0,2 \quad (2.1)$$

dimana :

x = konsentrasi rata-rata enterococci /100 ml

y = resiko gastroenteritis /1000 orang

Persamaan tersebut digunakan untuk mengestimasi *gastroenteritis* dengan gejala diare disertai sakit kepala atau demam, gejala sakit kepala disertai demam atau sakit perut disertai demam.

2.6 Pengolahan Limbah

Dalam Peraturan Pemerintah RI Nomor 82 Tahun 2001, disebutkan bahwa pengendalian pencemaran air adalah upaya pencegahan dan penanggulangan pencemaran air serta pemulihan kualitas air untuk menjamin kualitas air agar sesuai dengan baku mutu air. Pengendalian pencemaran air dilakukan untuk menjamin kualitas air agar sesuai dengan baku mutu air melalui upaya pencegahan dan penanggulangan pencemaran air serta pemulihan kualitas air. Untuk memenuhi usaha tersebut, sebelum limbah dibuang ke tempat pembuangan (dalam hal ini laut sebagai

tempat pembuangan akhir) maka perlu diolah terlebih dahulu hingga zat-zat berbahaya yang terkandung dalam limbah tersebut berada dalam jumlah yang sangat kecil.

Menurut Mason (1992), ada empat tahap proses pengolahan air buangan (*sewage*), yaitu: pengolahan dasar, pengolahan primer, pengolahan sekunder, dan pengolahan tersier. Digram alir proses kerja tahapan pengolahan limbah tersebut dapat dilihat pada Gambar 2-1.

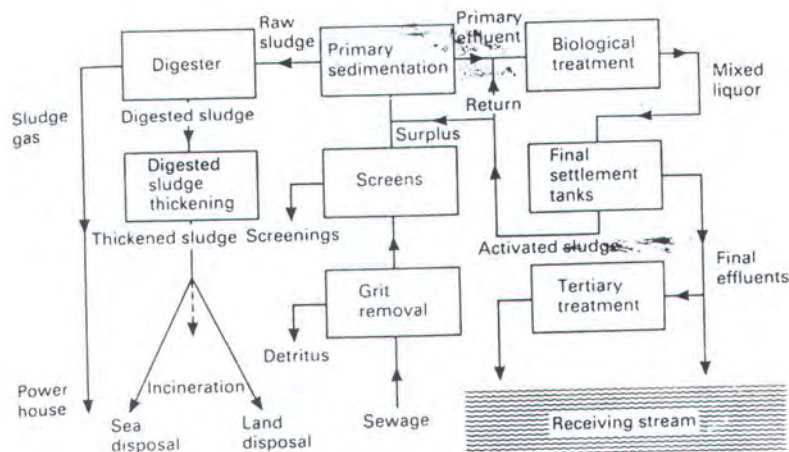
2.6.1 Proses Pengolahan Dasar (*preliminary treatment*)

Proses ini terdiri dari tahapan untuk memisahkan air dan limbah padatan, yaitu dengan cara membiarkan padatan tersebut mengendap atau memisahkan bagian-bagian padatan yang mengapung bersamaan dengan aliran air. Bahan-bahan buangan yang mengapung dan berukuran besar (seperti kayu, kertas dan botol) dipisahkan dari air buangan dengan cara mengalirkan air tersebut melalui saringan (yang terdiri dari baris-baris besi, dengan jarak 75-100 cm). Bahan-bahan berpasir (seringkali disebut detritus) dihilangkan dengan mengalirkan air buangan melalui tangki pasir dengan kecepatan konstan ($\pm 1 \text{ ft/s}$) untuk menjaga agar bebas dari benda padat organik.

2.6.2 Proses Pengolahan Primer (*primary treatment*)

Proses ini disebut juga proses sedimentasi atau pembentukan endapan. Air kotor (air buangan) yang telah disaring dibiarkan mengendap dalam tangki-tangki besar. Endapan yang mengandung kebanyakan bahan-bahan organik dan jasad renik ini, dinamakan *sludge*. Endapan ini dipisahkan dari supernatan (effluen primer yang masih banyak mengandung bahan organik yang dapat membusuk) menuju *sludge digestion tank*. Kemudian endapan tersebut dan supernatannya diolah secara terpisah.

Jumlah bahan organik dalam supernatan dapat dengan maksimal dikurangi, bila pembentukan endapan dilakukan secara aktif dengan bantuan penganginan air buangan tersebut. Bila udara dialirkan melalui air buangan tersebut, akan terbentuk suatu gumpalan, atau suatu presipitat, dan partikel-partikel dari presipitat ini penuh dengan jasad renik yang beroksidasi aktif. Setelah suatu masa tertentu, dimana bahan organik telah teroksidasi lebih lanjut, *sludge* dibiarkan mengendap.



Gambar 2-1. Diagram Alir Proses Kerja Tahapan Pengolahan Limbah
(Sumber: Mason, 1992)

Supernatan dan sebagian dari *sludge* yang terbentuk dipindahkan untuk diolah lebih lanjut pada proses penanganan sekunder, dan sebagian dari *sludge* dikembalikan ke tangki untuk mengaktifkan air buangan yang baru.

2.6.3 Proses Pengolahan Sekunder (*secondary treatment*)

Proses ini disebut juga penanganan secara biologi (*biological treatment*). Proses ini melibatkan oksidasi antara *dissolved and colloidal organics* dengan bantuan mikroorganisme dan organisme pembusuk lainnya (*decomposer organisms*) dan aerobiosis, yaitu aktivitas biologis dengan pemanfaatan oksigen, baik oksigen terlarut dan oksigen bebas. Metode dengan kondisi aerobiosis ini adalah metode *trickling filters*, *activated sludge tanks*, dan *oxidation ponds*. *Secondary sludge* yang dihasilkan pada pengolahan ini dikombinasikan dengan *primary sludge* pada *sludge digestion tanks*, dimana pemecahan/penghancuran secara aerobik oleh mikroorganisme terjadi.

a. *trickling filters*

Penyaring pada proses ini berupa tangki dengan tinggi 1-3 m yang berisi lapisan batu dan kerikil yang bergradasi uniform (*“high-rate” filter*), dimana air buangan akan dialirkan melalui lapisan ini secara lambat. Jika air buangan masih bersifat asam setelah proses penanganan primer, netralisasi dengan basa atau kapur diperlukan

sebelum dialirkan melalui filter tersebut. Bakteri akan berkembang biak pada batuan tersebut sehingga jumlahnya cukup untuk mengkonsumsi sebagian bahan-bahan organik yang masih terdapat dalam air buangan setelah proses penanganan primer.

b. activated sludge process

Pada proses ini, kecepatan aktivitas bakteri ditingkatkan dengan cara memasukkan udara (oksigen murni) dan lumpur yang mengandung bakteri ke dalam tangki sehingga lebih banyak mengalami kontak dengan air buangan yang sebelumnya telah mengalami proses penanganan primer sehingga terjadi proses oksidasi. Peredaran udara ini akan mengakibatkan pembentukan gumpalan benda padat dan jasad-jasad renik yang aktif. *Secondary sludge* yang terbentuk pada proses ini dikembalikan untuk dicampurkan kembali dengan air limbah yang baru agar supaya aktivitas bakteri meningkat.

c. oxidation ponds

Kolam oksidasi merupakan kolam-kolam buatan yang dangkal, dengan kedalaman rata-rata 1 m, untuk menangani air buangan dan proses yang terjadi di dalamnya adalah interaksi antara bakteri dengan alga. Bakteri dalam kolam akan menghancurkan *biodegradable organic* untuk menghasilkan karbondioksida, amonia dan nitrat. Komponen tersebut akan digunakan oleh alga, dengan bantuan sinar matahari, untuk melakukan proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen. Dan selanjutnya oksigen ini akan dimanfaatkan oleh bakteri untuk menguraikan limbah. Lapisan *sludge* organik akan turun ke dasar kolam dan terjadi dekomposisi anaerobik yang menghasilkan metana (Hawkes, 1993 dalam Mason, 1992).

2.6.4 Proses Pengolahan Tersier (*tertiary treatment*)

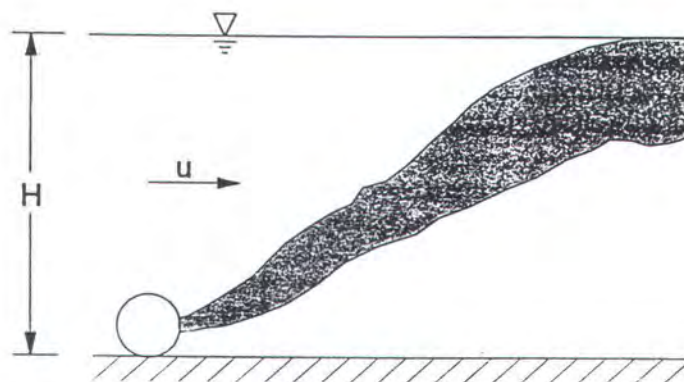
Proses penanganan tersier dilakukan untuk menghasilkan hasil akhir keluaran air buangan yang telah diolah (effluen) yang berkualitas tinggi. Proses ini dapat menghilangkan bakteri, padatan yang tersuspensi serta komponen atau nutrisi yang beracun. Untuk menghilangkan bahan-bahan yang dapat membusuk yang masih tersisa dan juga kuman-kuman enterik, dilakukan penganginan dan penyaringan air buangan yang telah diolah. Penganginan perlu dilakukan untuk menjamin terbentuknya suatu lapisan jasad renik yang beroksidasi pada partikel-partikel saringan. Kemudian air

tersebut disemprotkan di atas pasir atau batu-batu kerikil. Proses penyaringan ini sama seperti pada proses penjernihan air minum.

Pada garis besarnya, kontaminan yang dihilangkan dibedakan dalam 3 macam, yaitu: padatan tersuspensi, senyawa-senyawa organik terlarut, dan senyawa-senyawa anorganik terlarut. Padatan tersuspensi dapat dihilangkan dengan proses filtrasi *mikro staining* dan koagulasi filtrasi. Sedangkan zat organik terlarut dihilangkan dengan proses absorpsi dan oksidasi. Untuk penghilangan zat-zat anorganik terlarut, terutama nitrogen (N), dilakukan proses *air stripping ammonia*, *ammonium ion exchange*, biosintesis, nitrifikasi-denitrifikasi dan klorinasi.

2.7 Pembuangan Limbah (*Sewage Disposal*) dengan *Outfall*

Setelah mengalami proses pengolahan, hasil akhir (effluen) dari proses tersebut akan dibuang ke laut sebagai tempat pembuangan akhir melalui fasilitas pipa pembuangan (*ocean outfall*). Menurut Lee dan Jirka (1994), ada tiga macam tipe pembuangan (*discharge*) dengan outfall: *single submerged pipe outfall*, *multiple port (multiport) submerged diffuser outfall* dan *surface discharge*. Pada penelitian ini, effluen akan dibuang dengan menggunakan *single submerged pipe outfall* (Gambar 2-2).



Gambar 2-2. *Single buoyant jet* pada Kondisi Perairan *Unstratified Crossflow*
(Sumber: Roberts, 1996)

2.7.1 Single Submerged Pipe Outfall

Effluen yang dibuang ke laut akan berpengaruh terhadap kualitas perairan. Untuk itu diperlukan desain *outfall* yang baik dan benar (*well-designed outfall*) agar nantinya tidak menimbulkan dampak yang membahayakan bagi lingkungan dan kesehatan manusia pengguna perairan.

Ketika effluen dialirkan, memungkinkan terjadinya intrusi air laut ke dalam port. Untuk menghindari hal tersebut maka aliran pada pipa harus penuh dengan mendesain densimetrik Froude number, F_o , lebih besar dari 1 (Roberts, 1996).

$$F_o = U_o / \sqrt{g'D} \quad (2.2)$$

dimana:

U_o = discharge velocity (m/s)

g' = reduced gravitational acceleration = $\left(\frac{\rho_a - \rho_{ef}}{\rho_a}\right)g$

ρ_a = densitas ambien (kg/m^3)

ρ_{ef} = densitas effluen (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

D = diameter port (m)

Dan untuk kestabilan discharge, dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan berikut (Lee dan Jirka, 1981 dalam Lee dan Jirka, 1994):

$$\frac{h}{D} > 0.22F_o \quad (2.3)$$

dimana:

h = kedalaman discharge (m)

2.7.2 Dilusi/Pengenceran

Secara keseluruhan, pembuangan effluen ke laut menimbulkan tiga macam mekanisme pengenceran/dilusi: *initial dilution*, *far-field dilution* dan *effective dilution*.

a. Initial dilution

Initial dilution, S_1 , adalah pengenceran yang terjadi pada daerah *near-field* (disebut juga dengan *active dispersal region* atau *initial mixing region*). Daerah ini didefinisikan sebagai daerah di sekitar discharge dan secara dinamis dipengaruhi oleh buoyancy dan momentum discharge. Skala jarak *near-field* kurang lebih 10 meter, atau dalam kilometer untuk pembuangan dari instalasi yang besar; dengan skala waktu 1 – 10 menit.

Persamaan initial dilution pada *flowing* dan *nonstratified ambient water* ditunjukkan pada persamaan berikut (Muellenhoff *et al.*, 1985 dalam Economopoulos *et al.*, 2003).

$$S_1 = C_1 \left(\frac{U}{Q} \right) z^2 \quad (2.4)$$

$$z = 0.746 H \quad (2.5)$$

dimana:

$C_1 = 0.49$ untuk *vertical discharge*

$= 0.58$ untuk *horizontal discharge*

U = kecepatan arus (m/s)

Q = *discharge flowrate* (m^3/s)

z = jarak ketika plume mencapai buoyancy netral pada permukaan air (posisi centerline) (m)

H = kedalaman ambien (m)

b. Far-field dilution

Far-field dilution, S_2 , (sering disebut juga dengan *dispersion dilution*) adalah pengenceran yang terjadi pada daerah *far-field* (disebut juga dengan *passive dispersal region*). Daerah ini didefinisikan sebagai daerah yang lebih jauh dari *near-field* dimana efek dinamis dari discharge tidak berpengaruh lagi, tapi lebih dipengaruhi oleh keadaan ambien (seperti arus dan gelombang) dan proses turbulensi ambien. Skala jarak pada proses ini adalah dalam 100 – 10000 m, bahkan bisa mencapai 100 km, dengan skala waktu dalam 1- 20 jam sampai dalam hari, tergantung perubahan pasang surut.

Perhitungan *dispersion dilution* ini ditunjukkan dengan persamaan (Brooks, 1960 dalam Economopoulou, 2003):

$$S_2 = \frac{1}{\operatorname{erf} \sqrt{\frac{1.5}{\left(1 + \frac{2}{3} \beta \frac{X_f}{w_o}\right)^3 - 1}}} \quad (2.6)$$

dimana:

$$\beta = \frac{12\varepsilon_o}{Uw_o} \quad (2.7)$$

$$\varepsilon_o = \frac{0.01(100w_o)^{4/3}}{10^4} \quad (2.8)$$

β = dimensionless number

ε_o = eddy diffusivity for horizontal diffusion at beginning of far-field (m²/s)

Kombinasi persamaan (2.6) dengan persamaan (2.7) dan (2.8) menghasilkan persamaan untuk *far-field dilution* sebagai berikut:

$$S_2 = \frac{1}{\operatorname{erf} \sqrt{\frac{1.5}{\left(1 + 0.00371 \frac{X_f}{Uw_o^{2/3}}\right)^3 - 1}}} \quad (2.9)$$

dimana:

erf = standard error function, yang didefinisikan sebagai :

$$\operatorname{erf}(\eta) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\eta e^{-v^2} dv \quad (2.10)$$

w_o = initial width of sewage field (m), menurut Muellenhoff *et al.* (1985)

dalam Economopoulos *et al.* (2003) didefinisikan sebagai:

$$w_o = 0.68 z \quad (2.11)$$

z = jarak ketika plume mencapai buoyancy netral pada permukaan air (posisi centerline (m))

X_f = jarak *far-field* (m)

c. *Effective dilution*

Pengurangan dari zat/substansi yang bersifat non-konservatif atau mikroorganisme diekspresikan sebagai *effective dilution*, S_3 . Reduksi mikroorganisme/bakteri di perairan dapat dihitung dengan T_{90} yang merupakan waktu (dalam jam) yang dibutuhkan untuk bakteri berkurang sebesar 90% karena kematian/inaktivasi (Roberts dan Williams, 1992 dalam Roberts, 1996).

Menurut William B. L. dalam Sharp (1990), T_{90} berada pada order 2 sampai 8 jam. Hal ini dikatakan pula oleh Allen dan Sharp (1987) bahwa banyak studi menyimpulkan waktu 2 jam adalah waktu yang biasanya terjadi (*reasonable*) untuk bakteri berkurang sebesar 90% ($T_{90} = 2$ h). Perhitungan ini diekspresikan dengan persamaan:

$$S_3 = 10^{-\frac{t}{T_{90}}} \quad (2.12)$$

dimana :

t = *travel time* dimana dilusi/pengenceran diukur (jam)

Total pengenceran/dilusi yang terjadi adalah sama dengan perkalian antara tiga mekanisme dilusi tersebut (Economopoulos *et al.*, 2003).

$$S = S_1 S_2 S_3 \quad (2.13)$$

2.7.3 Pemodelan Ocean Outfall

Setelah limbah mengalami proses pengolahan maka effluen yang dihasilkan akan dibuang ke perairan laut dengan menggunakan *outfall*. Pemodelan *ocean outfall* pada penelitian ini menggunakan CORMIX-GI versi 4.3. CORMIX (The Cornell Mixing Zone Expert System) adalah suatu software yang digunakan untuk menganalisa dan mendesain pembuangan limbah pada bermacam-macam kondisi. Desain ini menekankan pada geometri *outfall* dan karakteristik pengenceran/dilusi pada *mixing zone* sehingga hasil akhir dari proses ini akan memenuhi standar kualitas air yang berlaku. Selain itu CORMIX juga memperkirakan karakteristik pengenceran pada jarak yang cukup jauh dari discharge (*far-field*).

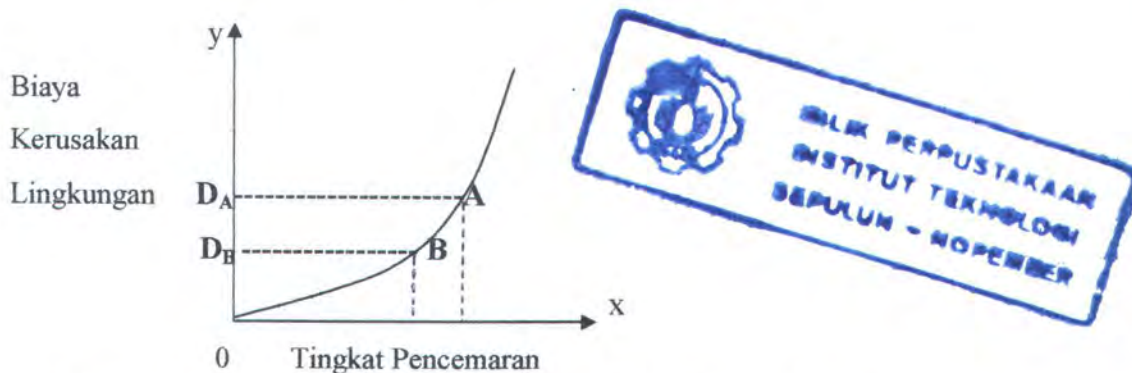
Penggunaan CORMIX diimplementasikan pada IBM-DOS yang memanfaatkan mikrokomputer. CORMIX terdiri dari tiga subsistem, yaitu:

1. CORMIX 1, untuk mendesain dan menganalisa *single port submerged discharge*
2. CORMIX 2, untuk mendesain dan menganalisa *multiport submerged discharge*
3. CORMIX 3, untuk mendesain dan menganalisa *surface discharge*

2.8 Biaya Pengendalian Pencemaran Lingkungan

Biaya dan keuntungan dari program pengendalian lingkungan dapat dideskripsikan secara kualitatif dan secara umum dapat diilustrasikan dengan menggunakan grafik (Rubin, 2001). Seperti diilustrasikan pada Gambar 2-3, bahwa kontrol terhadap lingkungan berhubungan dengan reduksi pada biaya kerusakan (*damage cost*). Tingkat pencemaran pada titik *A* mengakibatkan biaya kerusakan berada pada level D_A . Apabila tingkat pencemaran direduksi sampai pada titik *B*, maka biaya kerusakan dapat turun sampai level D_B . Selisih antara dua biaya kerusakan ini menggambarkan keuntungan secara ekonomi dari sebuah proses reduksi tingkat pencemaran.

$$\text{Economic benefits} = \text{reduksi tingkat pencemaran} = D_A - D_B \quad (2.14)$$

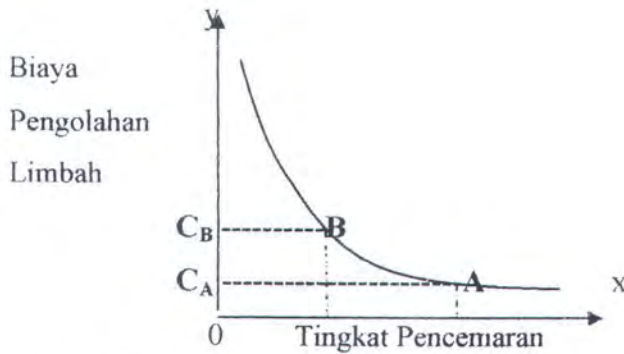


Gambar 2-3. Grafik Hubungan Antara Biaya Kerusakan Lingkungan dengan Tingkat Pencemaran (Sumber: Rubin, 2001)

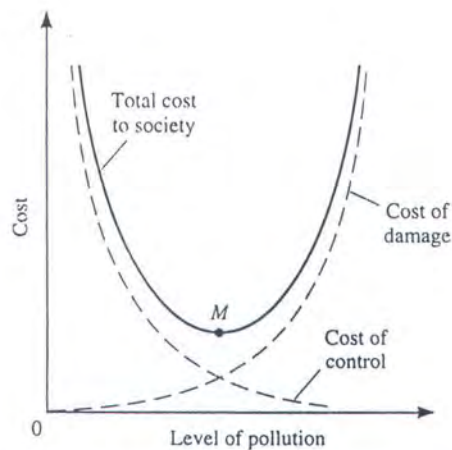
Sebaliknya, biaya pengolahan limbah semakin meningkat seiring dengan turunnya tingkat pencemaran. Gambar 2-4 menunjukkan bahwa biaya yang lebih tinggi diperlukan untuk menurunkan tingkat pencemaran dari titik *A* ke titik *B*.

$$\text{Extra cost pollution control} = CB - CA \quad (2.15)$$

Kombinasi kedua kurva (Gambar 2-5) memperlihatkan biaya minimum (titik *M*) yang didefinisikan sebagai tingkat kontrol pencemaran yang optimal dengan mempertimbangkan biaya secara keseluruhan.



Gambar 2-4. Grafik Hubungan Antara Biaya Pengolahan Limbah dengan Tingkat Pencemaran (*Sumber: Rubin, 2001*)

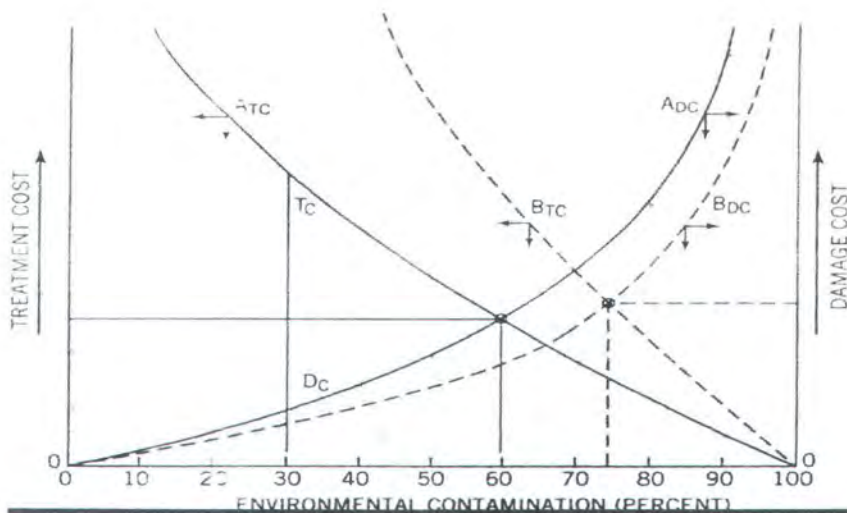


Gambar 2-5. Grafik optimasi biaya dalam pengendalian pencemaran lingkungan (*Sumber: Rubin, 2001*)

Senada dengan hal tersebut, Nemerrow (1995) mengatakan bahwa dalam pengendalian pencemaran, pengolahan limbah secara benar sebelum dibuang akan menghasilkan biaya kerusakan (*damage cost*) yang rendah. Tetapi sebaliknya, pengolahan limbah yang dilakukan “seadanya” atau bahkan tidak dilakukan pengolahan terhadap limbah

yang dihasilkan maka akan menghasilkan biaya kerusakan yang timbul menjadi tinggi. Hubungan antara pengolahan limbah dan biaya kerusakan diilustrasikan dengan diagram pada Gambar 2-5.

Diagram tersebut menunjukkan 2 (dua) keadaan pencemaran yang berbeda akibat industri, yaitu A dan B. Kurva biaya pengolahan limbah (A_{TC} , B_{TC}) dan biaya kerusakan (A_{DC} , B_{DC}) pada masing-masing keadaan ditunjukkan pada gambar di atas. Terlihat bahwa ketika tingkat pencemaran mendekati nol, maka biaya pengolahan limbah adalah maksimum dan biaya kerusakan adalah minimum. Titik temu anantara dua kurva pada masing-masing keadaan menunjukkan biaya pengolahan limbah yang diperlukan dan biaya kerusakan lingkungan yang masih dapat diterima. Tetapi karena populasi manusia yang semakin berkembang, maka biaya kerusakan lingkungan diharapkan semakin kecil. Hal ini berarti metode alternatif dalam hal pengolahan limbah harus segera ditemukan.



Gambar 2-6. Environmental Contamination versus Treatment and Damage Cost
(Sumber : Nemerrow, 1995)

2.8.1 Valuasi Ekonomi

Valuasi ekonomi dampak lingkungan adalah proses kuantifikasi dan pemberian nilai (valuasi) ekonomi terhadap dampak lingkungan setelah dilakukan identifikasi terlebih dahulu. Valuasi ekonomi diperlukan dalam upaya menunjukkan bahwa aspek lingkungan bukan sebagai halangan bagi pembangunan tetapi merupakan potensi

penting untuk jangka panjang. Dengan demikian upaya untuk mendekati nilai lingkungan tersebut perlu dilakukan untuk mengingatkan para pengambil kebijakan akan pentingnya dampak yang timbul dari sebuah kegiatan terhadap lingkungan hidup (Pearce, 1987 dalam Kay dan Alder, 1999).

Seperti misalnya, biaya kerusakan (*damage cost*) yang berupa resiko penurunan jumlah turis/wisatawan pada suatu daerah yang diperuntukkan sebagai kawasan rekreasi/wisata. Hal ini dikatakan oleh Coccossis dan Nijkamp, 1995 dalam Kay dan Alder (1999), bahwa penurunan jumlah turis lebih sering disebabkan karena terjadinya degradasi lingkungan yang signifikan akibat pengembangan perencanaan yang seadanya dan dampak adanya turis itu sendiri pada lingkungan alam dan lingkungan sosial.

Untuk itu diperlukan sebuah perencanaan yang bertujuan untuk meningkatkan/menambah penggunaan lokasi daerah wisata tetapi juga terlindungi, dengan kata lain menjadikan daerah pantai dan pesisir (*coast*) lebih menarik (*enjoyable*) dan lebih aman (*safe*) bagi kegiatan turisme (Kay dan Alder, 1999).

Hal ini dikarenakan turisme adalah sebuah industri yang sangat penting bagi negara yang sebagian besar wilayahnya adalah pantai (*coastal nations*) (Miller dan Auyomg, 1991; Stronge, 1994 dalam Kay dan Alder, 1999). Selain itu Kay dan Alder (1999) mengatakan pula bahwa rekreasi dan turisme adalah industri yang akan berkembang pesat di seluruh dunia. Oleh karena itu, turisme menjadi bagian yang cukup signifikan untuk perekonomian suatu negara.

2.8.2 Perubahan Nilai Mata Uang

Dalam lingkup pengendalian lingkungan, biaya pengolahan limbah dan biaya resiko menjadi bagian dari komponen biaya secara keseluruhan. Biaya komponen-komponen ini bervariasi pada setiap lokasi dan setiap waktu (Rubin, 2001). Untuk menghitung perubahan nilai biaya tersebut, ada lima parameter yang digunakan sebagai dasar untuk kalkulasi biaya (Tabel 2-2).

Tabel 2-2. Parameter Biaya

Parameter	Definisi	Diagram
P	<i>Present value</i>	
F	<i>Future value</i>	
U	<i>Uniform series amount</i>	
n	<i>Number of time periods</i>	
i	<i>Interest rate per time period</i>	

Sumber: Rubin, 2001

Perubahan suatu nilai uang dikarenakan adanya bunga yang harus dibayarkan pada setiap periode waktu. Proses ini sering disebut juga dengan *compounding* (pemajemukan), sehingga persamaan berikut sering disebut juga dengan formulasi *compound interest*.

$$F = P (1 + i)^n \tag{2.16}$$

- dimana :
- F = *future value*, nilai uang yang akan datang
 - P = *present value*, nilai uang sekarang
 - i = suku bunga
 - n = interval waktu

2.9 Baku Mutu Air Laut

Menurut Peraturan Pemerintah RI Nomor 19 tahun 1999, tentang Pengendalian Pencemaran dan/atau Perusakan Laut, istilah yang berkaitan dengan pengelolaan kualitas dan pengendalian pencemaran air laut yang didefinisikan sebagai berikut:

- Baku mutu air laut adalah ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen yang ada atau harus ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya di dalam air laut.
- Kriteria baku kerusakan laut adalah ukuran batas perubahan sifat fisik dan/atau hayati lingkungan laut yang dapat ditenggang;
- Status mutu laut adalah tingkatan mutu laut pada lokasi dan waktu tertentu yang dinilai berdasarkan baku mutu air laut dan/atau kriteria baku kerusakan laut.

Sedangkan menurut Mukhtasor dan Hartoyo (2004), baku mutu air laut merupakan instrumen hukum untuk pengendalian kualitas air laut. Kondisi suatu perairan dapat dinilai dengan baku mutu apakah masih memenuhi persyaratan lingkungan atau tidak.

Baku mutu lingkungan sering juga disebut sebagai standar lingkungan yang seringkali menjadi pokok perdebatan dan ketidaksepakatan berbagai pihak. Seringkali beberapa bahan pencemar dalam baku mutu diberi batasan nilai atau standar yang tidak dapat diterima kalangan industri atau dianggap tidak realistis. Di pihak lain nilai batasan tersebut dapat pula dianggap tepat oleh sekelompok masyarakat (Buchori dkk., 2001)

Lebih lanjut dikatakan mengenai beberapa istilah penting dalam baku mutu yang penting untuk diketahui. *Objektif*, yakni tujuan atau sasaran ke arah mana suatu pengelolaan lingkungan ditujukan, misalnya untuk melestarikan dan meningkatkan populasi ikan di suatu perairan. *Kriteria* adalah kompilasi atau hasil dari suatu pengolahan data ilmiah yang akan digunakan untuk menentukan apakah suatu kualitas air atau udara yang ada dapat digunakan sesuai dengan objektif atau suatu tujuan penggunaan tertentu. *Standar* adalah suatu set nilai numerikal dari konsentrasi atau jumlah suatu bahan kimia atau pencemar, suatu keadaan fisik atau lain-lain hal yang ada dalam media ambien atau yang berada dalam media limbah.

Tabel 2-3 dan Tabel 2-4 adalah standar kualitas perairan untuk bakteri yang diperuntukkan sebagai fasilitas rekreasi di Amerika Utara dan Eropa. Sedangkan di Indonesia, baku mutu air laut dengan parameter biologi untuk kegiatan wisata bahari ditetapkan dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut (Tabel 2-5).

Tabel 2-3. North American Standards

Agency	Regime	Faecal Coliform Standards
Toronto Health Department	Daily	GM < 100 per 100 ml No sample to exceed 400 per 100 ml
Canadian Federal	5/30 days	GM < 200 per 100 ml Resample if any sample exceed 400 per 100 ml
USEPA	5/30 days	GM < 200 per 100 ml < 10 % only to exceed 400 per 100 ml

GM = geometric mean

Sumber : Kay dan Wyer, 1990

Tabel 2-4. European Standards

	Total coliform per 100 ml	E. coli per 100 ml
Guide (recommended) 80 % of sample should not exceed this figure	500	100
Imperative (mandatory) 95 % of sample should not exceed this figure	10000	2000

Sumber : Kay dan Wyer, 1990

Tabel 2-5. Baku Mutu Air Laut untuk Wisata Bahari

Parameter Mikrobiologi	Satuan	Baku Mutu
<i>E. coliform</i> (fecal)	MPN/100 ml	200*
<i>Coliform</i> (total)	MPN/100 ml	1000*

* diperbolehkan terjadi perubahan s/d <10% konsentrasi rata-rata musiman

Sumber: Kepmen LH No. 51 Tahun 2004

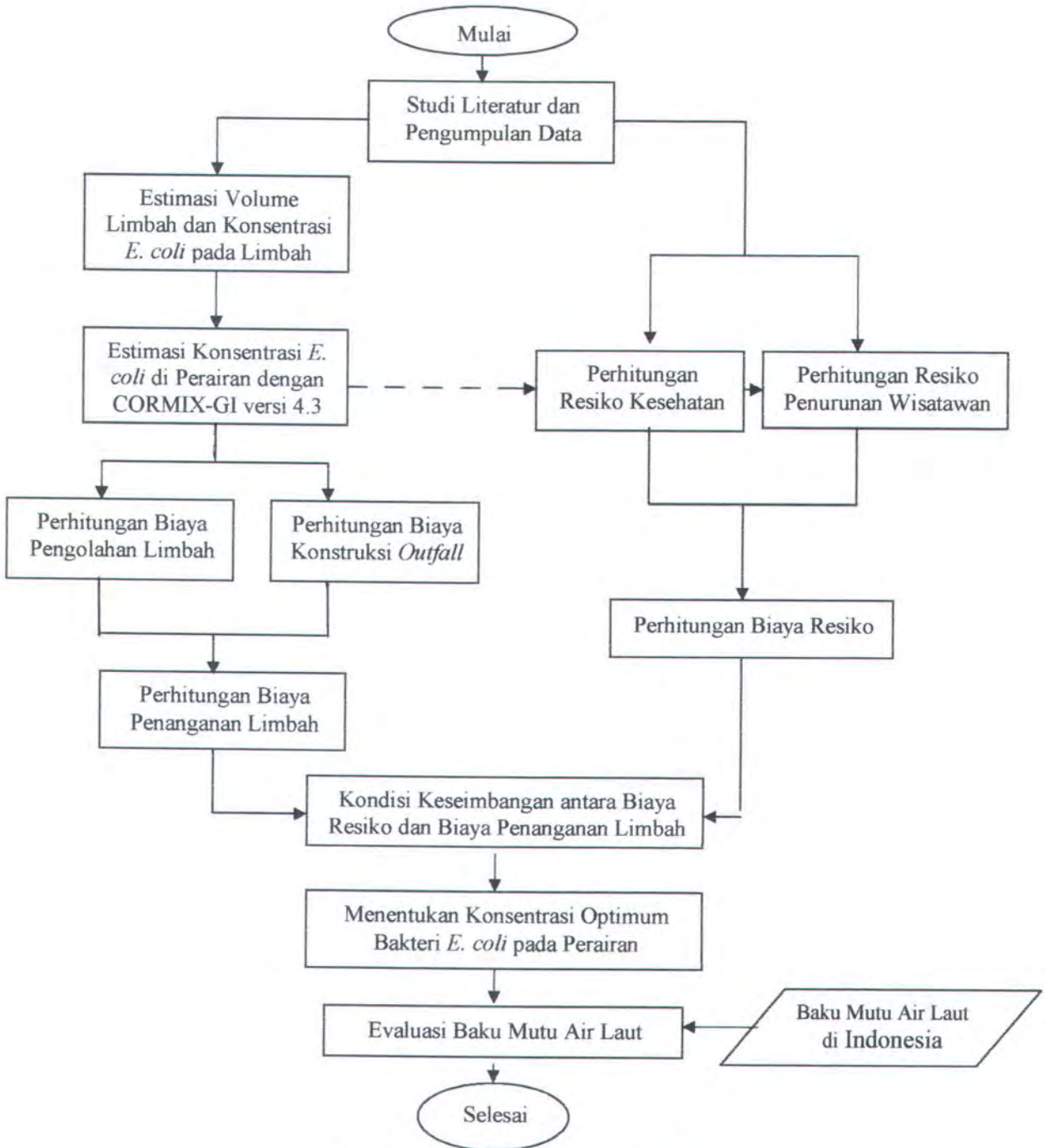


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Secara umum, penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan seperti pada Gambar 3-1.



Gambar 3-1. Diagram Tahapan Penelitian

3.1 Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Studi literatur yang dilakukan mempelajari tentang kualitas air (*water quality*), limbah dan pencemaran beserta resiko kesehatan dan penanganannya, *outfall* serta pengelolaan sumber daya wilayah pesisir dan lautan, dari buku-buku, hasil penelitian-penelitian yang pernah dilakukan serta akses internet. Dalam tugas akhir ini akan digunakan data sekunder yang diperoleh dari lembaga atau instansi terkait dan dari hasil penelitian-penelitian yang pernah dilakukan.

3.2 Estimasi Volume Limbah Industri Pariwisata (*bungalow, resort, cottage, dll*)

Langkah pertama yang dilakukan adalah mengklasifikasi pulau-pulau di gugusan Kepulauan Seribu yang diperuntukkan sebagai pulau rekreasi dan pariwisata. Dari klasifikasi tersebut kemudian ditentukan pulau yang akan dijadikan studi kasus dalam penelitian ini. Studi kasus dimaksudkan untuk mengestimasi volume limbah domestik yang dihasilkan berdasarkan data kunjungan wisatawan serta menentukan skenario *outfall* yang akan digunakan di pulau tersebut.

Volume limbah rata-rata diestimasi berdasarkan jumlah kunjungan per hari dikalikan dengan estimasi volume limbah yang dihasilkan (*flowrate*) pengunjung per harinya. Volume limbah pengunjung per hari diestimasi berdasarkan studi literatur dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

3.3 Estimasi Konsentrasi Mikroorganisme Patogen (dengan Indikator *E. coli*)

Konsentrasi *E. coli* pada *raw sewage* (influen) didapatkan dari penelitian Munawari (2003). Langkah selanjutnya adalah menentukan beberapa skenario pengolahan limbah yang akan digunakan untuk menurunkan konsentrasi mikroorganisme patogen dengan indikator *E. coli* pada limbah yang dihasilkan. Pengolahan limbah ini digunakan untuk mengolah limbah domestik dengan volume dan konsentrasi yang telah diestimasi sebelumnya. Kemudian estimasi konsentrasi *E. coli* pada effluen didapatkan dari tingkat kualitas mereduksi dari metode pengolahan limbah yang digunakan.

3.4 Pemodelan Ocean Outfall

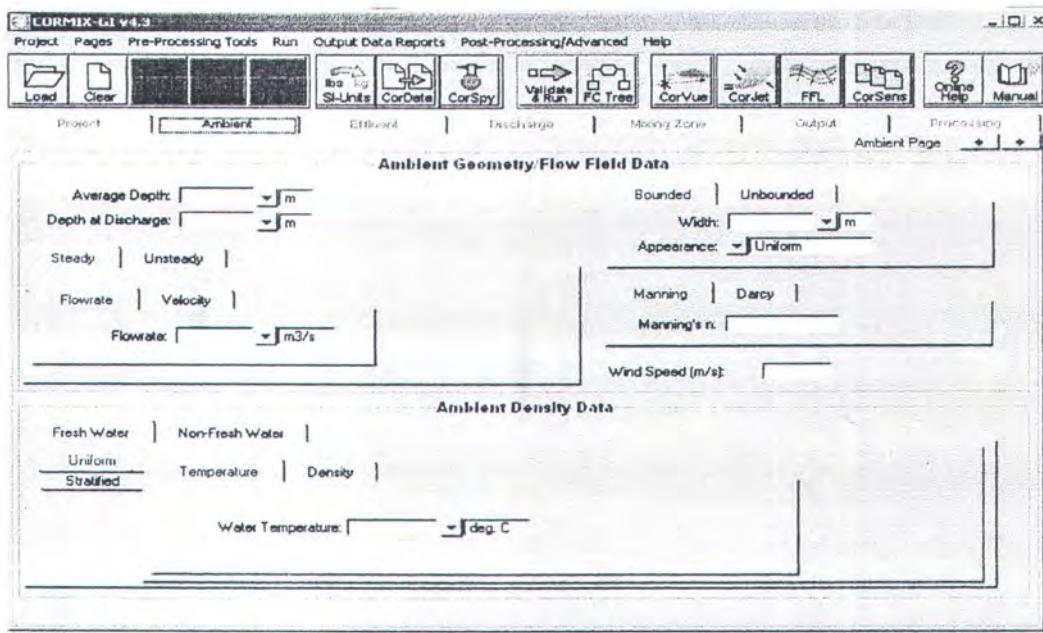
Pada penelitian ini, skenario *outfall* yang akan digunakan dianalisa dengan menggunakan CORMIX 1, untuk *single port submerged discharge*. Hasil perhitungan *outfall* dengan menggunakan persamaan-persamaan pada subbab 2.7 akan dibandingkan dengan prediksi hasil/output dari CORMIX ini.

3.4.1 CORMIX Data Input

Sistem CORMIX disusun oleh program input data yang berisi data spesifik mengenai:

a. Ambien data

Kondisi ambien didefinisikan sebagai kondisi geometri (batimetri) dan hidrografi (sekitar pembuangan (*discharge*), seperti penentuan kedalaman rata-rata ambien, kedalaman ambien yang sebenarnya, kecepatan arus, karakteristik kekasaran (*Manning's factor*), pasang surut, salinitas, densitas, dan kecepatan angin.



Gambar 3-2. Tampilan Salah Satu Data Input CORMIX-GI versi 4.3

b. Effluen data

Data-data yang diperlukan untuk menggambarkan keadaan effluen seperti: densitas dan temperatur effluen, konsentrasi effluen (dengan unit konsentrasi: mg/l, ppm, %, *bacteri counts*, °C), jenis polutan yang terkandung dalam effluen (konservatif, non-konservatif, panas, atau sedimen), *discharge flowrate*, *discharge velocity*.

c. Discharge data

Data-data yang diperlukan untuk menggambarkan kondisi discharge geometri seperti: jarak ke *bank* (seperti sungai atau muara) yang terdekat, sudut vertikal dan horisontal discharge, dan diameter port

3.4.2 CORMIX Output

Nilai dilusi yang dihasilkan dari pemodelan CORMIX nantinya akan digunakan sebagai dasar dalam memperkirakan konsentrasi bakteri *E. coli* di perairan. Selain itu, aspek-aspek teknis lain yang diperlukan dalam skenario *outfall* juga akan dibahas dalam subbab ini.

3.5 Perhitungan Biaya Penanganan Limbah

Tahap ini akan membahas mengenai hubungan antara konsentrasi bakteri *E. coli* yang diharapkan di perairan dengan biaya penanganan limbah (pengolahan dan pembuangan dengan *outfall*)

Biaya pengolahan limbah didasarkan pada estimasi biaya pada tahun 1980 (Dames & Moore, 1978; Culp, Wesner, Culp, 1979 dalam Mueller & Anderson, 1983). Sedangkan biaya konstruksi *outfall* didasarkan pada estimasi biaya tahun 1995 (Chang, 1995 dalam Munawari, 2003). Untuk periode saat ini maka perhitungan perubahan nilai uang diekspresikan dengan persamaan (2.16). Dalam perhitungan biaya pengolahan limbah ini, suku bunga didefinisikan sebagai laju inflasi rata-rata.

3.6 Penilaian Resiko Kesehatan

Pada tahap ini yang dilakukan adalah mengolah data-data yang telah diperoleh untuk dianalisis berdasarkan studi literatur yang digunakan. Penilaian resiko kesehatan terbagi menjadi 4 (empat) tahap, yaitu :

3.6.1 Identifikasi Macam Bahaya

Pada tahap ini akan dibahas mengenai kemampuan mikroorganisme patogen dalam menimbulkan penyakit pada manusia. Dalam pembahasan tahap ini, digunakan studi literatur.

3.6.2 Penilaian Dosis-Respon

Tahap ini akan membahas mengenai mekanisme biologi dan hubungan konsentrasi bakteri *E.coli* di perairan dengan resiko timbulnya penyakit *gastroenteritis* pada manusia. Tahap ini juga menggunakan studi literatur.

3.6.3 Penilaian Paparan

Dalam tahap ini akan dibahas mengenai informasi-informasi yang diperlukan dalam perkiraan kontaminasi bakteri *E. coli*.

3.6.4 Penilaian Resiko

Informasi-informasi yang telah didapatkan pada tahap-tahap sebelumnya digunakan sebagai dasar dalam tahap ini.

3.7 Perhitungan Biaya Resiko

Perhitungan biaya resiko, dalam penelitian ini, merupakan akumulasi dari biaya resiko *gastroenteritis* pada wisatawan dan biaya akibat penurunan jumlah wisatawan di Kepulauan Seribu.

3.7.1 Perhitungan Biaya Resiko Gastroenteritis

Tingkat resiko *gastroenteritis* dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1). Selanjutnya tingkat resiko ini dikalikan dengan jumlah pengunjung daerah wisata Kepulauan Seribu yang berpotensi terkena *gastroenteritis*, sehingga didapatkan jumlah

penderita *gastroenteritis* akibat penggunaan perairan yang telah terkontaminasi mikroorganisme patogen. Selanjutnya, biaya resiko *gastroenteritis* diperoleh berdasarkan jumlah penderita *gastroenteritis* yang dikalkulasikan dengan biaya rata-rata yang dikeluarkan oleh seorang penderita *gastroenteritis*.

3.7.2 Perhitungan Biaya akibat Penurunan Wisatawan

Dalam penelitian ini biaya akibat penurunan jumlah pengunjung/wisatawan Kepulauan Seribu karena adanya pencemaran yang terjadi (*opportunity cost*) diekspresikan dengan:

$$C_o = N \times \text{HTM} \quad (3.1)$$

dimana :

C_o : *opportunity cost*

N : jumlah penurunan wisatawan

HTM: Harga Tanda Masuk Kepulauan Seribu

3.8 Evaluasi Baku Mutu Air Laut

Pada tahap ini akan ditentukan kondisi keseimbangan (*equilibrium point*) dari analisa-analisa yang telah dilakukan, yaitu biaya penanganan limbah dan biaya resiko yang terdiri dari biaya resiko kesehatan serta nilai yang hilang (*opportunity cost*) karena penurunan jumlah pengunjung/wisatawan Kepulauan Seribu akibat adanya pencemaran yang terjadi. Dari kondisi ini nantinya sebagai dasar penentuan konsentrasi optimum bakteri *E. coli* di perairan, yang selanjutnya dijadikan sebagai dasar dalam mengevaluasi baku mutu air laut untuk daerah wisata Kepulauan Seribu Jakarta.



BAB IV
KEADAAN UMUM WILAYAH
KEPULAUAN SERIBU

BAB IV

KEADAAN UMUM WILAYAH KEPULAUAN SERIBU

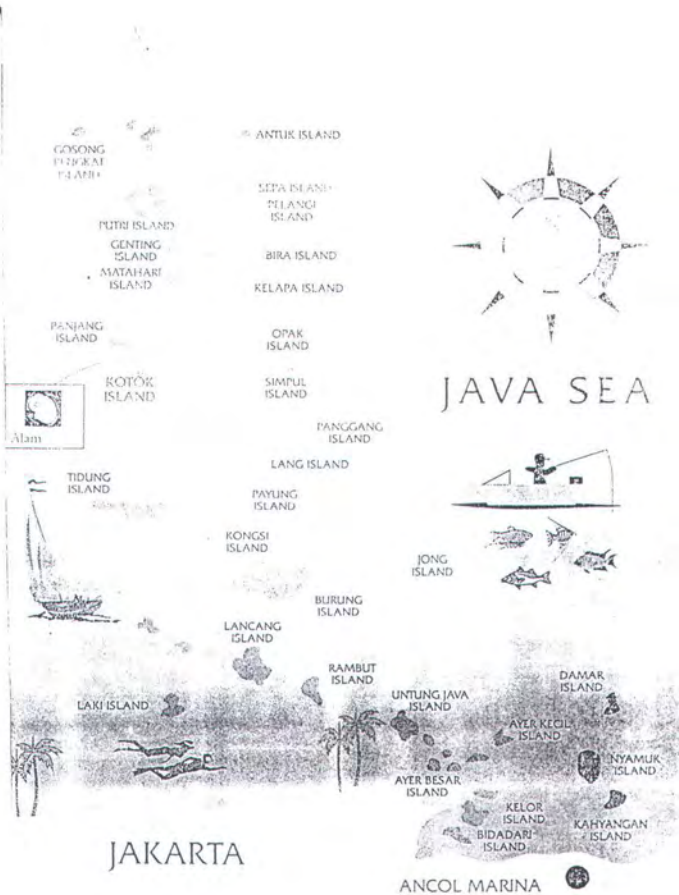
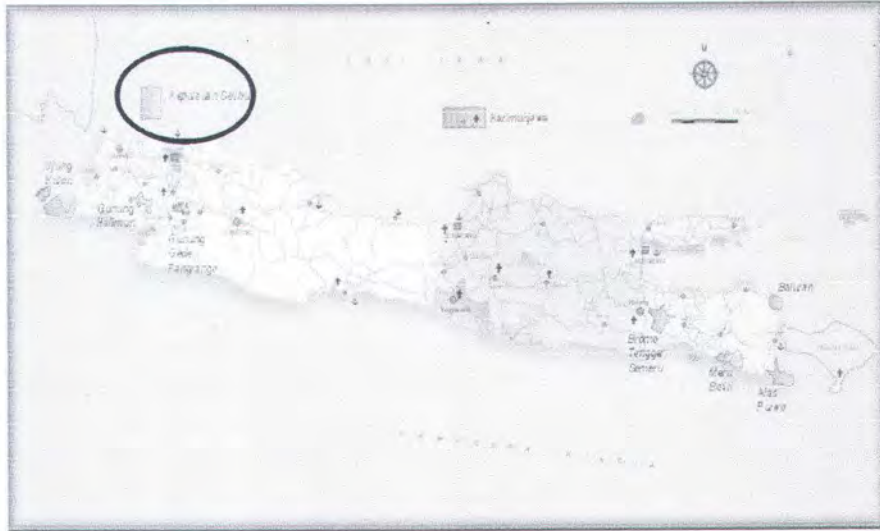
4.1 Pemilihan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di daerah wisata Kepulauan Seribu Kabupaten Administratif Kepulauan Seribu Propinsi DKI Jakarta (Gambar 4-1) dengan studi kasus Pulau Bidadari (Gambar 4-2). Penentuan lokasi dilakukan secara sengaja (*purposive*), dengan pertimbangan bahwa pada kawasan Kepulauan Seribu sekitarnya merupakan lokasi pengembangan marikultur dan wisata bahari yang banyak dikunjungi wisatawan. Sehingga pada kawasan ini berpotensi menimbulkan dampak berupa pencemaran limbah domestik dan resiko kesehatan pada wisatawan yang timbul akibat pencemaran tersebut.

4.2 Karakteristik Biofisik

Kepulauan Seribu terdiri atas 110 pulau, dan 11 diantaranya yang dihuni penduduk. Pulau-pulau lainnya digunakan untuk rekreasi, cagar alam, cagar budaya dan peruntukan lainnya. Luas Kepulauan Seribu kurang lebih 108.000 ha, terletak di lepas pantai utara Jakarta dengan posisi memanjang dari utara ke selatan yang ditandai dengan pulau-pulau kecil berpasir putih dan gosong-gosong karang.

Keadaan angin di Kepulauan Seribu sangat dipengaruhi oleh angin monsoon yang secara garis besar dapat dibagi menjadi Angin Musim Barat (Desember - Maret) dan Angin Musim Timur (Juni - September). Musim pancaroba terjadi antara bulan April - Mei dan Oktober - Nopember. Kecepatan angin pada Musim Barat bervariasi antara 7 - 20 knot per jam, yang umumnya bertiup dari barat daya sampai barat laut. Angin kencang dengan kecepatan 20 knot per jam biasanya terjadi antara bulan Desember - Februari. Pada Musim Timur kecepatan angin berkisar antara 7 - 15 knot per jam yang bertiup dari arah timur sampai tenggara.



Gambar 4-1. Pulau Jawa

(inset: Kabupaten Administratif Kepulauan Seribu Propinsi DKI Jakarta)

(Sumber: http://www.dephut.go.id/INFORMASI/TN%20INDO-ENGLISH/tn_kepulauanseribu.htm)

MAP OF BIDADARI ISLAND



LEGEND :

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| 1. DERMAGA | 12. COTTAGE CAMAR |
| 2. PRASASTI KIDUY (KIJANG DUYUNG) | 13. COTTAGE BINTANG LAUT |
| 3. FRONT OFFICE | 14. COTTAGE MUTIARA |
| 4. PRASASTI SEJARAH | 15. COTTAGE RAJUNGAN |
| 5. DRUG STORE | 16. LANAI GABUS |
| 6. RESTORANT/BAR/DISCOTHEQUE | 17. LANAI CENDRO |
| 7. TOILET | 18. LANAI BRONANG |
| 8. MULTI PURPOSE HALL 1 | 19. LANAI ALU - ALU |
| 8A. MULTI PURPOSE HALL 2 | 20. LANAI DURI - DURI |
| 9. MUSHOLA | 21. LANAI EKOR KUNING |
| 10. COTTAGE ANGSA | 22. COTTAGE GORANGGO |
| 11. COTTAGE BANGAU | 23. BENTENG |

Gambar 4-2. Pulau Bidadari
(Sumber: Munawari, 2003)

Musim hujan biasanya terjadi antara bulan Nopember - April dengan hujan antara 10 - 20 hari/bulan. Curah hujan terbesar terjadi pada bulan Januari dan total curah hujan tahunan sekitar 1700 mm. Musim kemarau kadang-kadang juga terdapat hujan dengan jumlah hari hujan antara 4 - 10 hari/bulan. Curah hujan terkecil terjadi pada bulan Agustus.

Kawasan Kepulauan Seribu memiliki topografi datar hingga landai dengan ketinggian sekitar 0 – 2 meter d.p.l. Luas daratan dapat berubah oleh pasang surut dengan ketinggian pasang antara 1 – 1,5 meter. Morfologi Kepulauan Seribu dengan demikian merupakan dataran rendah pantai, dengan perairan laut ditumbuhi karang yang membentuk atol maupun karang penghalang. Atol dijumpai hampir diseluruh gugusan pulau, kecuali Pulau Pari, sedangkan *fringing reef* dijumpai antara lain di P. Pari, P. Kotok dan P. Tikus.

Di wilayah Kepulauan Seribu tidak dijumpai sumber air permukaan, baik berupa sungai, mata air maupun danau. Sumber air yang ada berupa sumber air laut dan sumber air tanah yang hanya terdapat di beberapa pulau. Kapasitas air tanah tersebut sepenuhnya tergantung pada seberapa banyak curah hujan yang berhasil diserap ke dalam tanah.

Air tanah di Kepulauan Seribu dapat berupa air tanah tidak tertekan yang dijumpai sebagai air sumur yang digali dengan kedalaman 0,5 - 4 meter pada beberapa pulau berpenghuni. Air tanah tertekan juga dijumpai di beberapa pulau, seperti P. Pari, P. Untung Jawa dan P. Kelapa. Keberadaan air tanah di Kepulauan Seribu terkait dengan penyebaran endapan sungai purba yang menjadi dasar tumbuhnya karang.

4.3 Kondisi Oseanografi

4.3.1 Batimetri

Secara umum keadaan laut di wilayah Kepulauan Seribu mempunyai konfigurasi dasar perairan yang relatif datar dengan sedikit cekungan ke dalam. Kedalaman rata-rata pada rata-rata terumbu di sekeliling pulau bervariasi antara 1 - 5 m. Kedalaman laut di luar rata-rata terumbu bervariasi antara 20 - 40 m.

Kedalaman perairan di Kepulauan Seribu sangat bervariasi, dimana beberapa lokasi mencatat kedalaman hingga lebih dari 70 meter, seperti lokasi antara P. Gosong Congkak dan P. Semak Daun pada posisi $106^{\circ}35'00''$ BT dan $05^{\circ}43'08''$ LS dengan kedalaman 75 meter. Setiap pulau umumnya dikelilingi oleh paparan pulau yang cukup luas (*island shelf*) hingga 20 kali lebih luas dari pulau yang bersangkutan dengan kedalaman kurang dari 5 meter.

Hampir setiap pulau juga memiliki daerah rataan karang yang cukup luas (*reef flat*) dengan kedalaman bervariasi dari 50 cm pada pasang terendah hingga 1 meter pada jarak 60 meter hingga 80 meter dari garis pantai. Dasar rataan karang merupakan variasi antara pasir, karang mati, sampai karang batu hidup. Di dasar laut, tepi rataan karang sering diikuti oleh daerah tubir dengan kemiringan curam hingga mencapai 70° dan mencapai dasar laut dengan kedalaman bervariasi dari 10 meter hingga 75 meter.

4.3.2 Pasang Surut

Berdasarkan pengukuran di stasiun penelitian yang berlokasi di Pulau Untung Jawa pada koordinat $05^{\circ}58'45,21''$ LS - $106^{\circ}42'11,07''$ BT, kondisi pasang surut di Kepulauan Seribu dapat dikategorikan sebagai harian tunggal. Kedudukan air tertinggi dan terendah adalah 0,6 dan 0,5 meter dibawah duduk tengah. Rata-rata tunggang air pada pasang perbani adalah 0,9 meter dan rata-rata tunggang air pada pasang mati adalah 0,2 meter.

Tunggang air tahunan terbesar mencapai 1,10 meter. Pengamatan pada tahun 1999 di P. Pramuka, P. Karya dan P. Panggang mencatat tinggi muka laut rata-rata sebesar 1,01 m pada skala palem dan tinggi referensi kedalaman peta (*chart datum*) sebesar 0,65 m dibawah muka laut rata-rata. Hasil pengamatan pasang surut pada bulan Februari 2000 menghasilkan sembilan konstituen pasang surut utama sebagaimana terlihat pada Tabel 4-1. Konstituen dapat dipergunakan untuk meramalkan perubahan elevasi muka air akibat pasang surut.

Tabel 4-1. Konstituen Pasang Surut di Kepulauan Seribu

Tetapan yang Digunakan	S ₀	M ₂	S ₂	N ₂	K ₂	K ₁	O ₁	P ₁	M ₄	MS ₄	Z ₀
Amplitudo	101	5	6	3	1	26	16	8	1	0	65
g°		327	300	303	300	144	128	144	152	230	

Sumber : Bapedalda DKI Jakarta - LAPI ITB, 2001

4.3.3 Arus

Hasil pengukuran di P. Pramuka pada tahun 1993 mencatat kecepatan arus sebesar 2 – 19 cm/dt. Pada tahun 1997, kecepatan arus di P. Panggang, P. Pramuka, P. Semak, P. Karang Congkak dan P. Karang Bongkok tercatat sebesar 9 cm/dt, 10 cm/dt, 12 cm/dt, 4 cm/dt dan 5 cm/dt.

Pengukuran pada tahun 1999 mencatat kecepatan arus di P. Pramuka, P. Panggang dan P. Karya pada kondisi pasang purnama (*spring tide*) sebesar 5 – 48 cm/dt dengan arah bervariasi antara 3° - 348°. Di lokasi yang sama pada kondisi pasang perbani (*neep tide*) kecepatan arus tercatat sebesar 4 – 30 cm/dt dengan arah bervariasi antara 16° - 350°.

Hasil pengamatan yang dilakukan di P. Kelapa pada bulan Nopember dan Desember 1998 mencatat kecepatan arus pada kisaran 0,6 cm/dt hingga 77,3 cm/dt dengan rata-rata kecepatan sebesar 23,6 cm/dt dengan dominasi arah arus ke arah Timur – Timur Laut.

4.3.4 Gelombang

Pengukuran di P. Pramuka pada bulan Desember 1999 mencatat tinggi gelombang rata-rata yang diukur setiap jam selama 5 hari adalah 7,0–69,5 cm dengan periode rata-rata 2, –6,3 detik. Gelombang di daerah tubir akan lebih besar dibandingkan gelombang di garis pantai. Hal ini disebabkan di pantai telah terjadi peredaman gelombang oleh ratahan karang yang dangkal. Data tersebut menyimpulkan bahwa tinggi gelombang di sekitar P. Pramuka dapat dikategorikan sebagai rendah (<1 meter) walaupun frekuensinya cukup tinggi. Tinggi gelombang di Kepulauan Seribu pada musim Barat adalah sebesar 0,5–1,5 meter, sedangkan pada musim Timur adalah sebesar 0,5–1,0 m.

Tinggi gelombang sangat bervariasi antara satu lokasi dengan lokasi lainnya disebabkan oleh variasi kecepatan angin dan adanya penjalaran gelombang dan perairan sekitarnya, sesuai dengan letak gugusan Kepulauan Seribu yang berbatasan dengan perairan terbuka. Gelombang didominasi oleh arah Timur – Tenggara yang dipengaruhi oleh refraksi pada saat memasuki daerah tubir. Hasil pengamatan yang dilakukan pada bulan Nopember 1998–Agustus 1999 di P. Kelapa mencatat tinggi gelombang pada kisaran 0,05 – 1,03 meter dengan periode gelombang berkisar antara 2,13 – 5,52 detik.

4.4 Kualitas Perairan Laut

Mengacu pada beberapa hasil pengukuran kualitas air laut yang dilakukan pada waktu yang berbeda, dapat disimpulkan bahwa suhu, kecerahan dan salinitas relatif mencatat kondisi yang sama di beberapa lokasi dan antar musim sebagaimana tertera pada Tabel berikut. Suhu air laut dan salinitas tidak mencatat fluktuasi yang nyata pada musim Barat, musim Timur sebesar 28,5°C-31,0°C.

Sedangkan salinitas berkisar antara 30 – 34 promil, dimana pengukuran yang dilakukan pada tahun 1997 di P. Panggang, P. Pramuka, P. Semak Daun, P. Karang Congkak dan P. Karang Bongkok mencatat angka sebesar 32,0 promil, 31,5 promil, 31,8 promil, 32,0 promil dan 32,0 promil. Pengukuran yang dilakukan pada tahun 1999 di P. Pramuka, P. Panggang dan P. Karya mencatat angka yang relatif stabil, yaitu sebesar 32,65 – 32,74 promil. Secara lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4-2.

Tabel 4-2. Kualitas Perairan Laut di Kepulauan Seribu Tahun 2001

Parameter	Satuan	P.Kelapa	P.Pramuka	P.Gosong Rengat	P.Kotok Besar	P.Pari	P.Rambut
Suhu	°C	30,2	29,5	29,4	29,2	29,8	30,5
Kecerahan	Meter	-	8	6,5	-	4,5	3
Arus	Cm/dt	-	-	9,43	-	-	-
Turbiditas		3	-	-	-	-	-
Konduktifitas	Ms/cm	52,2	52,1	52,3	51,8	50,4	50,4
PH		7,94	8,16	8,16	8,07	8,22	8,22
Salinitas	Promil	34,4	34,3	34,4	34,2	3,31	33,1
DO	Mg/l	5,9	5,65	6,02	4,68	6,12	6,29

Sumber : Bapedalda DKI Jakarta - LAPPI ITB, 2001



4.5 Kondisi Pariwisata

Pariwisata di Kepulauan Seribu berorientasi kepada wisata bahari. Wisata bahari sesuai dengan karakteristik geografis Kepulauan Seribu yang terdiri dari banyak pulau yang dihubungkan oleh laut dan karakteristik kehidupan masyarakat setempat. Panorama laut di wilayah ini menjadi daya tarik alamiah bagi wisatawan. Panorama seperti pada saat matahari terbit dan matahari terbenam menjadi daya tarik tersendiri. Keindahan bawah laut juga dapat dinikmati dengan cara menyelam (*scuba diving*), *snorkling*, berlayar, mendayung, berenang dan memancing, kegiatan berjemur dan bermain di pantai juga dapat menjadi daya tarik bagi wisatawan.

Dinamika kehidupan masyarakat setempat sebagai masyarakat bahari sesungguhnya dapat menjadi daya tarik wisata. Kegiatan masyarakat sebagai nelayan dapat menjadi daya tarik tersendiri, khususnya di pulau-pulau pemukiman. Berbagai jenis ikan dan hasil laut bisa menjadi komoditi yang memiliki nilai jual untuk ditawarkan kepada para wisatawan. Sementara itu, alat perlengkapan penangkapan ikan dapat diperkenalkan kepada para pendatang/wisatawan, seperti, karamba jaring apung, bagan, alat pancing serta perahu.

Pada tahun 1992, Pemerintah Daerah (Pemda DKI Jakarta) telah menetapkan 43 buah pulau yang dapat dijadikan resort. Saat ini hanya 9 buah pulau yang sudah dijadikan resort wisata, 7 diantaranya berada di Kecamatan Kepulauan Seribu Utara dan 2 lainnya berada di Kecamatan Kepulauan Seribu Selatan. Pulau-pulau tersebut antara lain Ayer, Bidadari, Bira Besar, Hantu, Kotok Tengah, Kotok Timur, Putri, Matahari dan Sepa. Resort Pulau Ayer dan Pulau Bidadari terletak di Kepulauan Seribu Selatan sedangkan ketujuh resort lainnya berada di Kepulauan Seribu Utara. Seluruh resort yang ada dikelola oleh swasta sedangkan yang dikelola oleh Pemerintah belum ada (Tabel 4-3).

Tabel 4-3. Pulau Wisata di Kepulauan Seribu, Pengelola dan Lokasinya

Pulau	Pengelola	Lokasi (Kecamatan)
Ayer	PT. Global Eka Buana	Kepulauan Seribu Selatan
Bidadari	PT. Seabreez Indoensia	Kepulauan Seribu Selatan
Bira Besar	PT. Pulau Seribu Paradise	Kepulauan Seribu Utara
Hantu Timur	PT. Pantara Wisata Jaya	Kepulauan Seribu Utara
Kotok Tengah	PT. Kotok Wiethasa Indah	Kepulauan Seribu Utara
Kotok Timur	PT. Palem Putra Harmoni	Kepulauan Seribu Utara
Matahari	PT. Pantara Wisata Jaya	Kepulauan Seribu Utara
Putri	PT. Buana Bintang Samudra	Kepulauan Seribu Utara
Sepa	PT. Pulau Sepa Permai	Kepulauan Seribu Utara

Sumber : Suku Dinas Pariwisata Kepulauan Seribu, 2002

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa sebagian besar resort berada di wilayah Kepulauan Seribu Utara. Hal ini disebabkan kondisi alam yang relatif lebih baik, seperti laut yang lebih bersih, dibandingkan dengan wilayah Kepulauan Seribu Selatan. Sedangkan perkembangan jumlah wisatawan yang datang ke Kepulauan Seribu dari tahun ke tahun cenderung menurun seperti ditampilkan pada Tabel 4-4, namun terjadi peningkatan yang tidak terlalu besar pada tahun 2000 dan 2001.

Tabel 4-4. Data Kunjungan Wisatawan ke Kepulauan Seribu
Tahun 1995 – 2001

No.	Periode	Wisatawan Nusantara	Wisatawan Mancanegara	Jumlah
1	1995	143.722	12.991	156.713
2	1996	133.219	12.799	146.018
3	1997	105.683	10.252	115.935
4	1998	81.125	16.215	97.340
5	1999	80.105	15.918	96.023
6	2000	81.887	14.901	96.788
7	2001	82.011	15.038	97.049

Sumber : Suku Dinas Pariwisata Kepulauan Seribu, 2002



BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tujuan pengelolaan wilayah pesisir dan lautan yang diharapkan adalah agar sumberdaya yang ada dapat dimanfaatkan secara optimal dan berkelanjutan, sehingga kesejahteraan masyarakat meningkat tanpa menimbulkan terjadinya kerusakan lingkungan dan degradasi sumberdaya alam dan lingkungan yang dapat merugikan masyarakat dan kelangsungan hidup generasi yang akan datang (Noor, 2003). Dalam pengelolaan dan pemanfaatan sumberdaya wilayah pesisir dan lautan, terlebih lagi dalam suatu gugusan kepulauan, akan timbul permasalahan jika kegiatan pembangunan dan hasil yang akan dicapai serta efek yang terjadi tidak sesuai dengan tujuan pengelolaan yang diharapkan.

Kepulauan Seribu yang sekarang ditetapkan menjadi Kabupaten Administratif di Propinsi DKI Jakarta merupakan salah satu kawasan Taman Nasional Laut yang mempunyai ekosistem asli, dikelola dengan sistem zonasi yang dimanfaatkan untuk tujuan penelitian ilmu pengetahuan, pendidikan, menunjang budidaya, pariwisata, dan rekreasi. Keunikan Taman Nasional Laut Kepulauan Seribu adalah ekosistem pesisir dengan terumbu karang yang dimilikinya, produktivitas dan keanekaragaman jenis biota yang tinggi (Noor, 2003).

Sebagai sebuah kawasan pariwisata, Kepulauan Seribu, yang terdiri dari 110 pulau-pulau kecil yang tersebar di perairan Teluk Jakarta, menyediakan fasilitas penginapan berupa *bungalow* dan *cottage* atau pondok, restoran, ruang pertemuan, toko cinderamata, lapangan tenis, dan sarana rekreasi/olah raga air seperti menyelam (*scuba diving*), *snorkling*, selancar angin, ski air, berlayar, mendayung, berenang dan memancing. Hingga saat ini tercatat kurang lebih 9 pulau yang telah dikembangkan sebagai pulau wisata yang melayani masyarakat umum, baik wisatawan domestik maupun asing.

Tabel 5-1. Jumlah Fasilitas Akomodasi Wisata Kepulauan Seribu

Lokasi Wisata (Pulau)	Cottage	Speedboat
Ayer	57	2
Bidadari	47	9
Bira Besar	43	2
Hantu Timur/Barat	116	8
Kotok Tengah	40	3
Kotok Timur	15	-
Matahari	78	4
Putri	71	5
Sepa Barat	38	4
Jumlah	505	37

Sumber : Subdin Pariwisata Kabupaten Kepulauan Seribu, 2002

Kepulauan Seribu akan ditingkatkan sektor pariwisata lautnya dari 10% pulau menjadi 70% pulau berdasarkan Peraturan Daerah No. 6 Tahun 1999 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Daerah Khusus DKI Jakarta di Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu. Maka diperkirakan pula jumlah kunjungan wisatawan ke pulau-pulau wisata di Kepulauan Seribu akan meningkat. Dengan demikian dapat diperhitungkan pula jumlah limbah, terutama yang dihasilkan oleh industri pariwisata berupa limbah organik, akan meningkat dan menimbulkan dampak negatif bagi kawasan tersebut.

Pulau yang menjadi favorit dan paling banyak dikunjungi wisatawan di daerah wisata Kepulauan Seribu adalah Pulau Bidadari. Hal ini disebabkan lokasi pulau tersebut dekat dengan daratan Jakarta, yaitu ± 15 km dari Jakarta (Adriani, 2004; Adisubrata, 2004). Untuk itu, pada penelitian ini yang akan dijadikan studi kasus adalah Pulau Bidadari. Studi kasus dilakukan untuk mengestimasi volume limbah domestik yang dihasilkan pada pulau wisata di Kepulauan Seribu dan untuk menentukan skenario *outfall* yang akan digunakan di pulau tersebut.

5.1 Volume Limbah Domestik dan Konsentrasi *E. coli* yang Terkandung

Menurut Frazier *et al.* (1950), deskripsi mengenai limbah domestik “murni” sangat sulit untuk dijelaskan. Bukan hanya keadaan alamiah dari limbah, tetapi juga volumenya yang sangat bervariasi pada setiap daerah. Limbah domestik umumnya

mengandung 500 ribu sampai 20 juta mikroorganisme per ml. Sebagian besar adalah bakteri yang berasal dari saluran pencernaan (*intestinal bacteria*), namun sebagian besar bersifat non patogen, meskipun mengandung juga bakteri patogen.

Estimasi volume rata-rata limbah domestik per hari yang bersumber dari residential seperti: rumah tangga, apartemen, kondominium, *cottages* dan resort, dari beberapa penelitian ditunjukkan pada Tabel 5-2. Estimasi volume limbah dari fasilitas rekreasi di Amerika Serikat ditunjukkan pada Tabel 5-3.

Tabel 5-2. Volume Rata-rata Limbah Domestik yang Dihasilkan Residential

Studi	Volume Rata-rata Limbah Domestik (liter/orang/hari)
Brown & Caldwell (1984)	250.6
Anderson & Slegrist (1989)	268.0
Anderson et al. (1993)	191.9
Mayer et al. (1999)	262.3
Weighted average	259.7

Sumber: USEPA, 2002

Tabel 5-3. Volume Limbah dari Fasilitas Rekreasi di Amerika Serikat

Sumber	Flowrate (liter/orang/hari)	
	Range	Typical
Hotel	150 – 230	190
Motel	190 – 290	210
Resort	190 – 260	230
Cottage	150 – 230	190

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003

Sedangkan Steel dan McGhee (1979) memperkirakan volume limbah domestik dari resort dan *cottage* serta motel sebesar 190 liter per orang per harinya. Dan untuk hotel berkisar antara 190-225 liter per orang per harinya.

Di Indonesia, data mengenai volume limbah yang berasal dari sumber domestik dapat dilihat pada Tabel 5-4. Dari tabel dapat dilihat bahwa volume limbah dari sumber domestik yang dihasilkan berkisar antara 202 – 204 liter per orang per harinya.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan data-data yang ada, maka volume limbah yang dihasilkan tiap orang per harinya (*flowrates*) dalam penelitian ini diasumsikan sebesar 200 liter/orang/hari.

Tabel 5-4. Pencemaran Air dari Sumber Domestik
Propinsi Jawa Timur Tahun 1995

Kabupaten/Kotamadya	Penduduk (ribu orang)	Volume limbah (ribu m ³ /tahun)	Volume limbah (liter/hari/org)
Sampang	29	2097.408	200.90
Bangkalan	54	3906.370	200.95
Sumenep	63	4617.933	203.61
Bondowoso	70	5126.383	203.43
Situbondo	76	5583.741	204.08
Pasuruan	90	6575.127	202.94
Kediri	215	15683.770	202.63
Malang	514	37511.360	202.72
Surabaya	2464	179869.700	202.78

Sumber: BTKL Pos Surabaya, 1995 dalam Neraca Kualitas Lingkungan Hidup Daerah, 1995 (diolah)

Karena keterbatasan data mengenai jumlah kunjungan pada tiap-tiap pulau wisata Kepulauan Seribu, maka estimasi kunjungan rata-rata wisatawan ke Pulau Bidadari tiap harinya dilakukan berdasarkan data kunjungan wisatawan ke Kepulauan Seribu (Tabel 4-4). Data kunjungan wisatawan per tahunnya yang digunakan adalah data tahun 1995, dimana tahun tersebut merupakan kunjungan wisatawan yang paling besar, yaitu 156713 wisatawan. Nilai ini digunakan untuk mendapatkan *maximum flowrate* untuk perhitungan pengolahan limbah.

Selanjutnya, estimasi didasarkan pada asumsi bahwa 50% hingga 100% kunjungan wisatawan ke Kepulauan Seribu menjadikan Pulau Bidadari sebagai tujuan wisatanya. Dari nilai tersebut dapat diperkirakan juga volume limbah domestik yang dihasilkan per harinya (*flowrates*) di Pulau Bidadari, dengan menggunakan asumsi *flowrates* sebesar 200 liter/orang/hari (Tabel 5-5). Dari asumsi yang digunakan, maka volume limbah yang dihasilkan berkisar antara 436000 liter/hari hingga 870000 liter/hari. Nilai ini setara dengan 43,6 m³/hari hingga 87 m³/hari.

Sedangkan konsentrasi mikroorganisme patogen dengan indikator *E. coli* pada influen (limbah yang belum diolah) diestimasi berdasarkan studi literatur. Dari penelitian Munawari (2003) diketahui bahwa konsentrasi *E. coli* pada raw sewage di Pulau Bidadari adalah 2400-4800 per 100 ml.

Tabel 5-5. Parameter yang digunakan dalam Penentuan Volume Limbah Domestik yang Dihasilkan di Pulau Bidadari

Parameter	Nilai	Volume Limbah yang Dihasilkan
<i>Flowrates</i>	200 liter/orang/hari	
Rata-rata 50% kunjungan wisatawan	218 orang/hari	43600 liter/hari
Rata-rata 60% kunjungan wisatawan	261 orang/hari	52200 liter/hari
Rata-rata 70% kunjungan wisatawan	305 orang/hari	61000 liter/hari
Rata-rata 80% kunjungan wisatawan	348 orang/hari	69600 liter/hari
Rata-rata 90% kunjungan wisatawan	392 orang/hari	78400 liter/hari
Rata-rata 100% kunjungan wisatawan	435 orang/hari	87000 liter/hari

Meskipun volume limbah yang dihasilkan tergolong kecil, pengolahan harus tetap dilakukan untuk mendapatkan hasil effluen dengan kontaminan dalam jumlah yang tidak membahayakan kesehatan pengguna perairan.

5.2 Analisis Biaya Penanganan Limbah Domestik

Pada penelitian ini, analisis biaya penanganan limbah domestik didasarkan pada analisis biaya pengolahan limbah ditambah dengan biaya konstruksi pipa pembuangan (*outfall*).

5.2.1 Analisis Biaya Pengolahan Limbah

Proses pengolahan limbah pada industri pariwisata di Pulau Ayer dan Pulau Bidadari adalah menggunakan *biological treatment* sebelum limbah dibuang ke laut dengan menggunakan fasilitas pipa pembuangan (Munawari, 2003). Namun, untuk mendapatkan nilai baku mutu yang optimum, maka dilakukan analisis dengan menggunakan beberapa skenario metode pengolahan limbah dalam penanganan limbah domestik.

Dalam memilih sistem pengolahan limbah, sistem tersebut harus memenuhi persyaratan dapat menurunkan (mereduksi) unsur-unsur yang terdapat dalam limbah

yang belum diolah agar didapatkan nilai effluen yang diharapkan. Faktor-faktor yang berpengaruh dalam memilih alternatif yang ada meliputi volume, unsur-unsur alami yang terdapat dalam limbah, kemampuan jenis pengolahan, keberhasilan yang mungkin dicapai dalam setiap proses dalam memperbaiki limbah serta fleksibilitas terhadap perubahan karakteristik (Eckenfelder, 1991 dalam Hartoyo, 2003).

Ada beberapa metode pengolahan limbah, yang masing-masing metode mempunyai daya reduksi dan biaya yang berbeda-beda. Semakin tinggi tingkat reduksinya, semakin tinggi pula biayanya. Oleh karena itu, masalah biaya (*cost*) selalu menjadi faktor yang cukup signifikan dalam penanganan masalah lingkungan hingga saat ini.

Menurut Rubin (2001), secara garis besar, ada dua kategori biaya yang berhubungan dengan sebuah proyek atau teknologi, yaitu biaya kapital dan biaya operasi serta perawatan. Biaya kapital adalah sejumlah uang yang diperlukan untuk membeli, membangun, atau untuk memperoleh item utama suatu proyek atau teknologi. Dalam pengolahan limbah ini, biaya kapital adalah biaya instalasi dan biaya komponen-komponen utama (fasilitas) sistem pengolahan limbah seperti: *local collector* dan *interceptor*, yang selalu ada dalam setiap metode/tahapan pengolahan limbah.

Pada pengolahan primer, komponen-komponen utamanya adalah *settling ponds*, penyaring (*screens*), pompa, *grit chamber* dan tangki-tangki besar. Sedangkan pengolahan sekunder terdiri dari sistem pengolahan limbah sekunder, tangki, tangki klorinasi, dan *sewer outfall*. Dan untuk pengolahan tersier terdiri dari beberapa komponen-komponen tambahan untuk menghilangkan kontaminan yang tidak bisa ditangani oleh pengolahan primer ataupun pengolahan sekunder; seperti fasilitas *spray irrigation* atau *wetlands*.

Kategori yang kedua adalah biaya operasi dan perawatan yang sering disebut O&M (*operation and maintenance*) *cost*. Biaya ini diartikan sejumlah uang yang dikeluarkan setiap tahunnya untuk operasi dan perawatan dari sebuah proyek atau teknologi. Biaya ini dapat dibagi menjadi biaya tidak tetap dan biaya tetap. Biaya tidak tetap bergantung pada seberapa sering teknologi digunakan, seperti misalnya bahan bakar; sedangkan

biaya tetap tidak bergantung pada penggunaan teknologi tersebut, seperti misalnya *license/registration fee*.

Data biaya pengolahan limbah didapat dari dua sumber, Dames & Moore, 1978; Culp, Wesner, Culp, 1980 dalam Mueller & Anderson, 1983 (Tabel 5-6). Perhitungan ini didasarkan pada estimasi biaya dengan menggunakan metode kapital tahunan, dimana biaya total adalah biaya kapital instalasi dan fasilitas pengolahan limbah ditambah dengan biaya tahunan (*annual cost*).

Biaya kapital fasilitas pengolahan limbah pada semua metode pengolahan limbah sudah termasuk *raw pumping*, dan pengolahan dasar seperti: *bar screens*, kominutor, *grit removal*, dan *flow metering*. Sedangkan biaya tahunan terdiri dari biaya kapital tahunan dan biaya O&M tahunan.

Kemampuan untuk mereduksi beban pencemaran pada limbah bervariasi pada setiap metode pengolahan limbah. Tapi pada umumnya reduksi *total coliform* terjadi secara signifikan pada setiap pengolahan limbah yang dilakukan (Tabel 5-6). Menurut USEPA (2002), pengolahan limbah untuk menghilangkan patogen (bakteri, virus atau parasit) dapat dilakukan dengan filtrasi/inaktivasi atau dengan penggunaan disinfektan.

Klorin adalah salah satu disinfektan (pembasmi kuman dan bakteri/sterilisasi) yang biasanya digunakan dalam proses pengolahan limbah. Pengolahan secara kimiawi ini lebih mahal dibandingkan dengan pengolahan secara biologis dan menghasilkan volume *sludge* yang lebih besar. Meskipun menghasilkan kualitas effluen yang lebih baik, penggunaan secara terus-menerus klorin sebelum effluen dibuang ke laut akan berpengaruh terhadap kesehatan manusia dan dapat merusak ekosistem laut itu sendiri (Brooks, 1983; Cabelli, 1983).

Reduksi *total coliform* pada pengolahan dengan penambahan kapur (*lime treatment*) hampir sama dengan pengolahan dengan penggunaan disinfektan (Mueller dan Anderson, 1983). Sehingga, metode pengolahan limbah dengan penggunaan disinfektan (klorinasi) tidak dibahas dalam penelitian ini.

Tabel 5-6. Perubahan *Total Coliform* dengan Pengolahan Limbah

Metode Pengolahan	Total coliform (/100 ml)	Tingkat Reduksi (%)
Raw sewage	5×10^7	-
Conventional primary	1.5×10^7	70
Alum primary	10^7	80
Lime primary	10^4	99.9
High-rate secondary	10^5	99.8
Conventional secondary	10^5	99.8
Secondary with filtration	10^4	99.9

Sumber: Mueller dan Anderson, 1983

Tabel 5-7. Metode dan Biaya Pengolahan Limbah Domestik

Metode Pengolahan	Tingkat Reduksi (%)	Biaya (litr/d) Tahun 1980 (US \$)*	Biaya (litr/d) Tahun 2005 (US \$)**
Conventional primary	70	0.127	0.317
Alum primary	80	0.143	0.356
Lime primary	99.9	0.218	0.545
High-rate secondary	99.8	0.216	0.539
Conventional secondary	99.8	0.217	0.543
Secondary with filtration	99.9	0.242	0.603

*Dames& Moore, 1978; Culp, Wesner, Culp, 1979; dalam Mueller&Anderson, 1983 (diolah)

** Laju inflasi rata-rata sebesar 3.73% (Lampiran 1)

Dari data di atas (Tabel 5-6) dan (Tabel 5-7), maka estimasi tingkat reduksi dan biaya setiap metode pengolahan limbah untuk mereduksi *E. coli* pada limbah dapat dihitung sebagai berikut:

a. *Conventional primary* (tingkat reduksi 70%)

Konsentrasi *E. coli* pada effluen= konsentrasi *E. coli* pada influen x tingkat reduksi

$$= 4800 \times 0,7$$
$$= 1440 \text{ (bacteria counts)}$$

Biaya yang harus dikeluarkan = biaya (liter/hari) x volume limbah (liter/hari)

$$= 0.317 \text{ US\$} \times 87000$$
$$= 27579 \text{ US\$}$$
$$= \text{Rp. 263 miliar (1 US\$ = Rp. 9537,00)}$$

b. *Alum primary* (tingkat reduksi 80%)

Konsentrasi *E. coli* pada effluen= konsentrasi *E. coli* pada influen x tingkat reduksi

= 4800 x 0,8

= 960 (*bacteria counts*)

Biaya yang harus dikeluarkan = biaya (liter/hari) x volume limbah (liter/hari)

= 0.356 US\$ x 87000

= 30972 US\$

= Rp. 296 miliar (1 US\$ = Rp. 9537,00)

Perhitungan biaya di atas berdasarkan volume limbah domestik dari asumsi 100% kunjungan wisatawan ke Kepulauan Seribu menjadikan Pulau Bidadari sebagai tujuan wisatanya. Nilai ini dianggap sebagai nilai maksimum untuk mendapatkan hasil perhitungan yang bersifat konservatif. Untuk asumsi 50% - 90% kunjungan wisatawan ke Kepulauan Seribu menjadikan Pulau Bidadari sebagai tujuan wisatanya akan dibahas dalam pembahasan mengenai evaluasi baku mutu air laut pada subbab 5.6.

Selanjutnya hasil estimasi biaya pengolahan limbah selengkapnya disajikan pada Tabel 5-8, yang menunjukkan bahwa semakin kecil konsentrasi yang dihasilkan maka biaya pengolahan limbah semakin tinggi. Namun untuk pengolahan dengan *lime primary*, terlihat bahwa dengan konsentrasi effluen lebih kecil dibanding dengan *high-rate secondary* tapi biaya yang dikeluarkan lebih besar. Hal ini dikarenakan biaya O&M untuk *lime primary* lebih besar dibandingkan dengan biaya O&M untuk *high-rate secondary*.

Tabel 5-8. Estimasi Hasil dan Total Biaya Pengolahan Limbah Domestik

Metode Pengolahan	Influen (/100 ml)	Effluen (/100 ml)	Biaya Pengolahan (miliar rupiah)*
<i>Conventional primary</i>	4800	1440	0.263
<i>Alum primary</i>	4800	960	0.296
<i>Lime primary</i>	4800	4.8	0.452
<i>High-rate secondary</i>	4800	9.6	0.447
<i>Conventional secondary</i>	4800	9.6	0.450
<i>Secondary with fitration</i>	4800	4.8	0.501

*Kurs Transaksi BI (5 Maret 2005) = Rp. 9537,-/US \$
(Sumber: Info Konsumen dalam Surabaya Post)

5.2.2 Analisis Biaya Pembuangan Limbah melalui *Outfall*

a. Perancangan *Outfall*

Setelah mengalami proses pengolahan maka effluen dibuang ke perairan melalui fasilitas pipa pembuangan (*outfall*). Karena keterbatasan data mengenai fasilitas pipa pembuangan di lokasi penelitian, maka dilakukan perancangan pipa pembuangan dengan menggunakan perangkat lunak CORMIX-GI versi 4.3. Perancangan ini juga dilakukan untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam menentukan baku mutu perairan yang optimum.

- CORMIX-GI versi 4.3 Data Input

Untuk input data ambien pada CORMIX-GI versi 4.3 digunakan data keadaan lapangan di Pulau Bidadari. Kedalaman rata-rata pada rataaan terumbu di sekeliling Pulau Bidadari adalah 5 m pada jarak 60 m hingga 80 m dari garis pantai. Sedangkan kedalaman laut di luar rataaan terumbu bervariasi antara 20 - 40 m. Sehingga, input yang dimasukkan sebagai nilai kedalaman rata-rata ambien adalah 5 m.

Data arus yang digunakan adalah hasil pengukuran arus di sekitar teluk Jakarta, yang mencatat kecepatan arus rata-rata sebesar 10 cm/s. Asumsi ini digunakan karena letak Pulau Bidadari yang dekat dengan lokasi tersebut. Untuk densitas ambien dan kecepatan angin, karena keterbatasan data, maka digunakan nilai yang direkomendasikan sistem CORMIX untuk mewakili kondisi yang konservatif.

Tabel 5-9. Ambien Data Input

Parameter	Nilai
Kedalaman rata-rata	5 m
Kecepatan arus	0,1 m/s
Densitas	1027 kg/m ³
Kecepatan angin	2 m/s
Kedalaman discharge	4,85 m

Untuk input data effluen pada CORMIX-GI versi 4.3 (Tabel 5-10), digunakan data yang telah diestimasi pada perhitungan sebelumnya. *Flowrate* effluen adalah 87 m³/hari yang setara dengan 0,001 m³/s. Sedangkan konsentrasi polutan adalah

jumlah bakteri *E. coli* pada effluen, setelah limbah mengalami proses pengolahan, yaitu sebesar 1440/100 ml. Untuk densitas effluen, karena keterbatasan data, maka digunakan nilai yang direkomendasikan sistem CORMIX untuk mewakili kondisi yang konservatif.

Untuk input data *discharge* pada CORMIX-GI versi 4.3 (Tabel 5-11), digunakan data skenario *outfall* yang akan digunakan di lokasi studi. Data-data tersebut adalah diameter pipa sebesar 0,2 m; *port height* sebesar 0,15 m; sudut vertikal *port* (terhadap dasar laut) sebesar 0° dan sudut horisontal *port* (terhadap arah arus) yaitu sebesar 90°.

Tabel 5-10. Effluen Data Input

Parameter	Nilai
Flowrate	0,001 m ³ /s
Konsentrasi polutan	1440 <i>bacteri counts</i>
Densitas	999 kg/m ³

Tabel 5-11. Discharge Data Input

Parameter	Nilai
Diameter pipa (<i>port</i>)	0,2 m
<i>Port height</i>	0,15 m
Sudut vertikal port (terhadap dasar laut)	0°
Sudut horisontal port (terhadap arah arus)	90°

- CORMIX-GI versi 4.3 Output

Aspek teknis yang perlu diperhatikan dalam perancangan *outfall* ini adalah nilai densimetrik Froude Number, F_o , (persamaan 2.2) > 1 untuk menghindari terjadinya intrusi air laut. Angka F_o menunjukkan 13,77 > 1 yang berarti menunjukkan kondisi tersebut terpenuhi (lampiran 2).

Kondisi *discharge* dapat dinilai dengan persamaan (2.3), apakah dalam keadaan stabil atau tidak. Dari nilai dari dua parameter yang tidak berdimensi, $F_o = 13,77$ dan $\frac{h}{D} = 24,25$; yang selanjutnya dimasukkan ke persamaan (2.3) menunjukkan bahwa *discharge* dalam kondisi stabil.

Hasil *processing* CORMIX menunjukkan bahwa dilusi yang terjadi pada *near-field* adalah 8,7. Dengan nilai dilusi tersebut, maka konsentrasi *E. coli* di perairan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Jirka dan Lee, 1994):

$$S = c_0/c \tag{5.1}$$

dimana :

S = faktor dilusi

c₀ = konsentrasi zat/substansi di awal pipa pembuangan

c = konsentrasi zat/substansi di perairan

Tabel 5-12. Konsentrasi *E.coli* di Perairan setelah Melalui *Outfall*

Metode Pengolahan Limbah	Konsentrasi <i>E. coli</i> pada effluen (/100 ml)	Konsentrasi <i>E. coli</i> di Perairan (/100 ml)
<i>Conventional primary</i>	1440	165
<i>Alum primary</i>	960	110
<i>Lime primary</i>	4.8	0.55
<i>High-rate secondary</i>	9.6	1.10
<i>Conventional secondary</i>	9.6	1.10
<i>Secondary with fitration</i>	4.8	0.55

b. Biaya Konstruksi *Outfall*

Biaya konstruksi *outfall* didasarkan pada estimasi biaya oleh Chang (1995) dalam Munawari (2003). Menurut Chang, perkiraan biaya konstruksi *outfall* setiap meter panjang adalah 745 US\$. Dengan menggunakan persamaan (2.16) dan laju inflasi rata-rata sebesar 3,73% maka dapat diestimasi biaya konstruksi *outfall* pada saat ini adalah 1074.5 US\$. Estimasi panjang konstruksi *outfall* yang digunakan adalah 5 m. Estimasi ini digunakan berdasarkan jarak antara lokasi pengolahan limbah dengan lokasi pembuangan dekat perairan.

Tabel 5-13. Estimasi Biaya Konstruksi *Outfall*

Parameter	Nilai
Panjang konstruksi <i>outfall</i>	5 m
Biaya konstruksi/m	Rp. 10.200.000*
Biaya	Rp. 51.000.000

*Kurs Transaksi BI (5 Maret 2005) = Rp. 9537,-/US \$
(Sumber: Info Konsumen dalam Surabaya Post)

Biaya konstruksi *outfall* ini selanjutnya diakumulasikan dengan biaya pengolahan limbah yang telah dihitung sebelumnya. Biaya total penanganan limbah dapat dilihat pada tabel berikut.

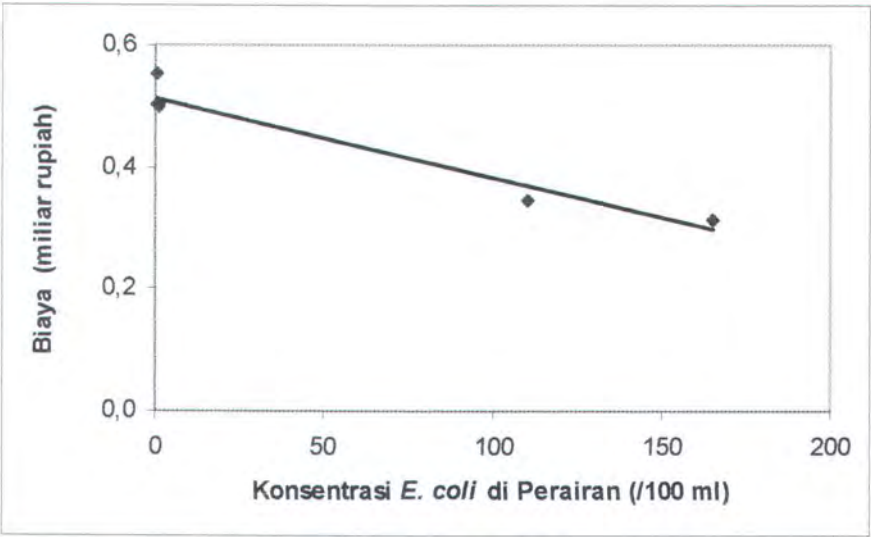
Tabel 5-14. Estimasi Hasil dan Total Biaya Penanganan Limbah Domestik

Pengolahan Limbah + <i>outfall</i>	Konsentrasi <i>E.coli</i> di Perairan (/100 ml)	Biaya Total (miliar rupiah)
<i>Conventional primary</i>	165	0.314
<i>Alum primary</i>	110	0.347
<i>Lime primary</i>	0.55	0.504
<i>High-rate secondary</i>	1.10	0.498
<i>Conventional secondary</i>	1.10	0.501
<i>Secondary with fitration</i>	0.55	0.552

Hubungan antara konsentrasi *E. coli* dengan biaya penanganan limbah diilustrasikan pada Gambar 5-1, dengan memenuhi persamaan :

$$y = - 0,0013x + 0,513$$
$$r^2 = 0,9428$$

(5.2)



Gambar 5-1. Grafik Hubungan Konsentrasi *E. coli* dan Biaya Penanganan Limbah

5.3 Penilaian Resiko Kesehatan Masyarakat

5.3.1 Identifikasi Macam Bahaya

Kondisi air secara alamiah adalah tidak steril. Selain terkandung mikroorganisme secara alamiah yang berasal dari air itu sendiri, mikroorganisme lainnya yang bersifat patogen juga terdapat dalam perairan. Kehadiran mikroorganisme patogen dalam perairan ini sebagai akibat dari kontaminasi air oleh mikroba yang berasal dari udara, sisa-sisa makhluk hidup, tinja manusia atau hewan dan juga yang berasal dari industri (Dwidjoseputro, 1987 dalam Agus Supriyanto *et al.*, 1993).

Air yang terkontaminasi dengan tinja akan meningkatkan resiko penyakit pada penggunaan perairan untuk minum, penangkapan ikan dan rekreasi. Namun, mikroorganisme patogen yang bersifat *water transmissible*, sangat bervariasi dan keberadaannya pada air yang terkontaminasi sangat kecil jumlahnya. Ini menyebabkan metode untuk mendeteksi menjadi sangat kompleks dan mahal. Oleh karena itu digunakan organisme alternatif yang selalu ada pada tinja, dapat bertahan hidup dibandingkan dengan mikroorganisme patogen lainnya, mudah dideteksi, yang dinamakan organisme indikator pencemaran tinja. (Sinton *et.al.*, 1993).

Bakteri fekal, yang terdiri dari bakteri koliform, bakteri *E. coli* dan bakteri *Streptococcus*, merupakan bakteri yang sudah umum digunakan sebagai organisme indikator pemantauan pencemaran suatu perairan akibat pencemaran tinja. Bakteri *E. coli* sendiri merupakan bakteri normal penghuni utama di dalam saluran pencernaan manusia atau hewan berdarah panas. Apabila bakteri ini keluar dari habitatnya maka bakteri tersebut mampu hidup lebih lama dibanding bakteri patogen lainnya, sehingga bakteri ini lebih banyak digunakan sebagai organisme indikator pencemaran tinja di perairan (Agus Supriyanto *et.al.*, 1993).

Lebih lanjut dikatakan bahwa *E. coli* mempunyai sifat morfologis seperti: panjang 1-3 μm , lebar $\pm 0.4 \mu\text{m}$, letak sel satu dengan lainnya terkadang berderet seperti rantai dan pada lingkungan yang kurang baik tampak berderet lebih panjang sehingga terlihat membentuk filamen panjang. Dan sifat fisiologis bakteri ini adalah tumbuh subur pada

media agar Mac Conkey dan EMB, dapat tumbuh pada media agar darah dan beberapa strain *E. coli* bersifat melisis darah.



(a)



(b)

Gambar 5-2. (a) Sel-sel *Escherichia coli*. (b) Koloni *E. coli* pada EMB Agar
(Sumber : <http://www.textbookofbacteriology.net/>)

Lebih lanjut dikatakan dengan adanya bakteri *E. coli*, dapat menunjukkan kondisi sanitasi yang tidak baik terhadap air, makanan dan minuman dan dengan adanya *E. coli* menunjukkan kemungkinan adanya mikroba enteropatogen atau enterotoksigenik yang berbahaya terhadap kesehatan manusia. Ditambahkan pula oleh Fakhri (2000), setelah tinja memasuki badan air, *E. coli* akan mengkontaminasi perairan, bahkan pada kondisi tertentu *E. coli* dapat mengalahkan mekanisme pertahanan tubuh dan dapat tinggal di dalam pelvis ginjal dan hati.

Seperti dikutip dari <http://www.textbookofbacteriology.net/>, sebagai bakteri patogen, *E. coli* dikenal secara umum di seluruh dunia sebagai penyebab penyakit saluran pencernaan (*intestinal diseases/gastroenteritis*). Lima kelas (*virotypes*) *E. coli* yang dapat menyebabkan penyakit ini dikelompokkan sebagai (1) *enterotoxigenic E. coli*, (2) *enteroinvasive E. coli*, (3) *enterohemorrhagic E. coli*; (4) *enteropathogenic E. coli* dan (5) *enteroaggregative E. coli*.

Gastroenteritis merupakan salah satu penyebab utama tingginya morbiditas (angka sakit) dan mortalitas (angka kematian) di seluruh dunia. Salah satu gejala klinikal *gastroenteritis*, diare, juga menjadi penyebab kedua kematian setelah kanker dan

penyebab utama kematian pada anak-anak di seluruh dunia. Pada negara berkembang, jumlah kematian akibat diare adalah 3-4 juta per tahunnya.

Gejala *gastroenteritis* yang lain adalah muntah-muntah yang menyertai diare, sakit perut bagian bawah, kejang dan demam yang biasanya dikarenakan terinfeksi akut oleh bakteri atau virus atau keracunan makanan. (Berman, 2003). Ditambahkan oleh Cabelli (1983), bahwa *gastroenteritis* lama-kelamaan dapat berganti menjadi penyakit yang lebih serius seperti infeksi hati atau typhus.

5.3.2 Penilaian Dosis-Respon

Cabelli *et al.* (1983) menyatakan bahwa resiko kesehatan yang dihubungkan dengan aktifitas, baik itu berenang atau mandi serta aktifitas lain, pada air yang terkontaminasi limbah domestik (*sewage*) akan meningkat apabila kualitas perairan menurun. Dikatakan pula bahwa ada beberapa indikator yang dapat diukur untuk menentukan korelasi *gastroenteritis* pada pengguna perairan.

Studi yang dilakukan Cabelli *et al.* (1983) menunjukkan bahwa *enterococci* menunjukkan korelasi terbesar dengan *gastroenteritis*, sedangkan *E. coli* berada di urutan kedua (Tabel 5-15). Untuk *total coliform* dan *faecal coliform* menunjukkan korelasi yang kecil antara aktivitas berenang dengan gejala *gastroenteritis*. Namun pada *freshwater beach*, *E. coli* mempunyai korelasi terbesar dengan gejala *gastroenteritis*.

Tabel 5-15. Koefisien Korelasi Tingkat Gastroenteritis akibat Berenang dengan Densitas Indikator pada *Marine* dan *Fresh Water*

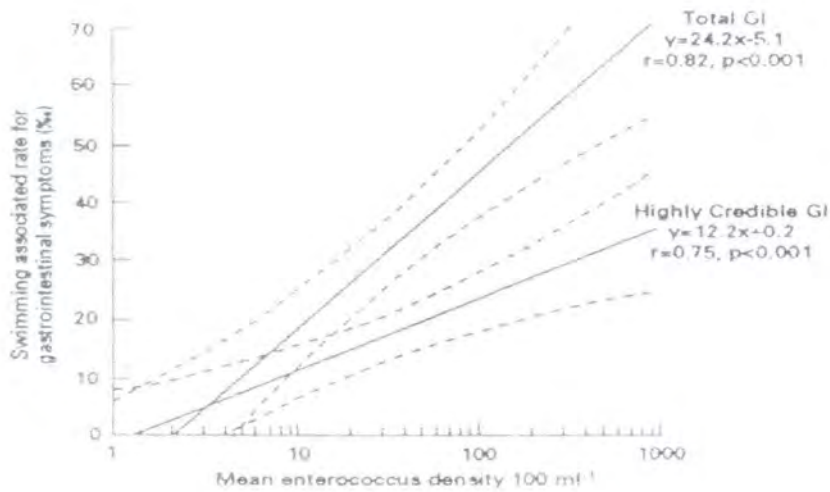
Tipe Perairan	Indikator	Koefisien Korelasi
Marine*	<i>Enterococci</i>	0.75
	<i>E- coli</i>	0.52
	<i>Total coliforms</i>	0.19
	<i>Fecal coliforms</i>	-0.01
Fresh*	<i>Enterococci</i>	0.74
	<i>E. coli</i>	0.80
	<i>Fecal coliforms</i>	-0.08

* Cabelli (1976)

**Cabelli (1982)

Sumber : Sinton *et al.*, 1993

Hubungan dosis-respon untuk mikroorganisme patogen (*enterococci*) dengan kesehatan manusia pada perairan laut diilustrasikan pada Gambar 5-3.



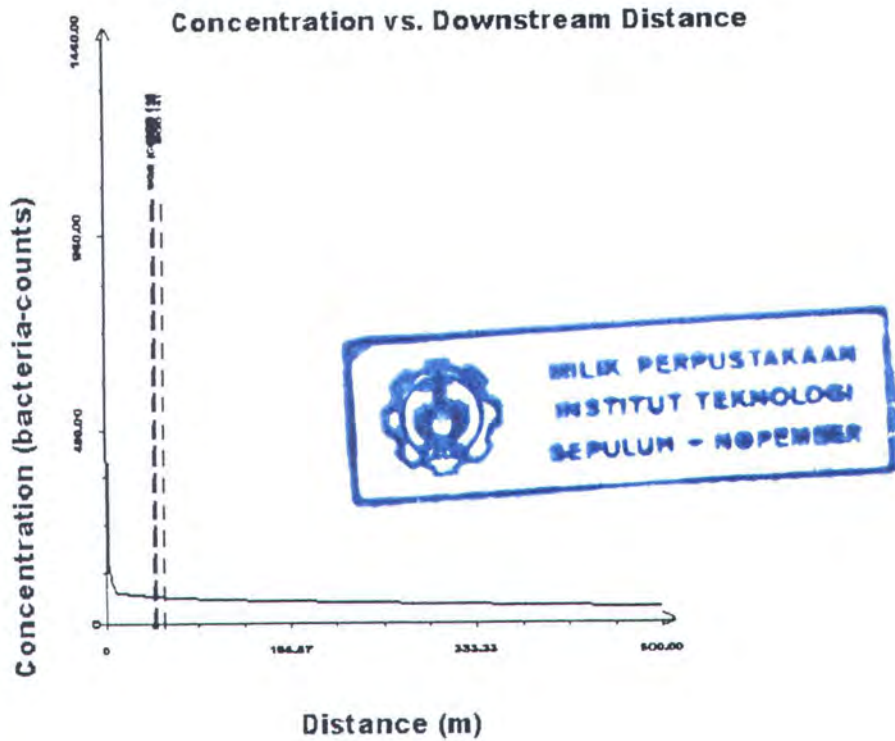
Gambar 5-3. Grafik Hubungan Dosis-Respon Akibat *Enterococci*
 Sumber : Cabelli et al. (1982) dalam Kay dan Wyer (1990)

5.3.3 Penilaian Paparan

Limbah yang dihasilkan oleh industri pariwisata; seperti industri perhotelan; fasilitas-fasilitas penginapan berupa bungalow, *cottage* atau pondok; atau restoran; berupa limbah organik merupakan media yang cocok untuk perkembangan mikroorganisme yang bersifat patogen terhadap manusia seperti bakteri *E. coli* (enteropathogenic).

Limbah yang mengandung mikroorganisme patogen ini, baik yang belum diolah atau sudah mengalami proses pengolahan, pada akhirnya akan terbuang/masuk ke laut melalui berbagai mekanisme, seperti melalui fasilitas pembuangan yang terencana (*ocean outfall*) maupun aliran sungai-sungai yang akhirnya bermuara ke laut atau bahkan pembuangan langsung ke dalamnya.

Pada penelitian ini, konsentrasi mikroorganisme patogen dengan indikator *E. coli* di perairan berkisar antara 0,55/100 ml sampai dengan 165/100 ml (Tabel 5-14). Ilustrasi konsentrasi *E. coli* di perairan dengan jarak dari *port* dari hasil pemodelan *outfall* dengan CORMIX-GI versi 4.3 ditunjukkan pada Gambar 5-4.



Gambar 5-4. Grafik antara Konsentrasi Mikroorganisme Patogen dengan Jarak Penyebaran Effluen dari Ujung Pipa

Pengunjung daerah wisata/pengguna perairan yang melakukan aktivitas di perairan yang telah terkontaminasi mikroorganisme patogen ini beresiko terkena penyakit saluran pencernaan (*gastroenteritis*). Resiko ini dikarenakan aktivitas memasukkan kepala ke dalam air (seperti berenang, menyelam, *snorkling*) berarti peluang masuknya air yang telah terkontaminasi mikroorganisme patogen ke dalam tubuh (Cabelli *et al.*, 1983).

Bila tinja seseorang yang sakit mengandung bakteri tersebut masuk ke badan air, maka bakteri-bakteri tersebut tetap hidup selama beberapa hari sebelum mati. Bila air tersebut diminum/terminum oleh manusia maka bakteri patogen yang masih hidup masuk sekali lagi ke usus manusia dan akan berkembang hingga dapat menyebabkan penyakit. Air di sini berfungsi sebagai pemindah penyakit (Alaerts dan Santika, 1984).

5.3.4 Penilaian Resiko

Tahapan ini merupakan penggabungan informasi-informasi yang telah didapatkan pada tahap-tahap sebelumnya, yaitu tahap identifikasi macam bahaya, tahap penilaian dosis-respon dan tahap penilaian paparan, sebagai dasar dalam perhitungan resiko penyakit *gastroenteritis* pada pengguna perairan akibat terkontaminasi mikroorganisme patogen dengan indikator *E. coli*.

Seperti yang telah diuraikan pada penilaian paparan bahwa perairan untuk rekreasi berpotensi untuk terjadinya peningkatan bahaya kesehatan, maka pada penelitian ini perhitungan resiko *gastroenteritis* dilakukan pada pengunjung daerah wisata Kepulauan Seribu Jakarta dengan tujuan wisata Pulau Bidadari yang berpotensi terkena *gastroenteritis* akibat melakukan aktifitas (berenang, mandi, dan selam) di perairan.

Dari Laporan Tahunan Suku Dinas Pariwisata Kepulauan Seribu (2002) pada Tabel 4-4, dapat diestimasi jumlah rata-rata pengunjung Pulau Bidadari pada tahun 1995 dengan menggunakan asumsi awal bahwa 50% hingga 100% kunjungan menjadikan Pulau Bidadari sebagai tujuan wisatanya. Sehingga jumlah rata-rata pengunjung Pulau Bidadari, baik wisatawan nusantara maupun wisatawan mancanegara, adalah 70521 orang per tahunnya.

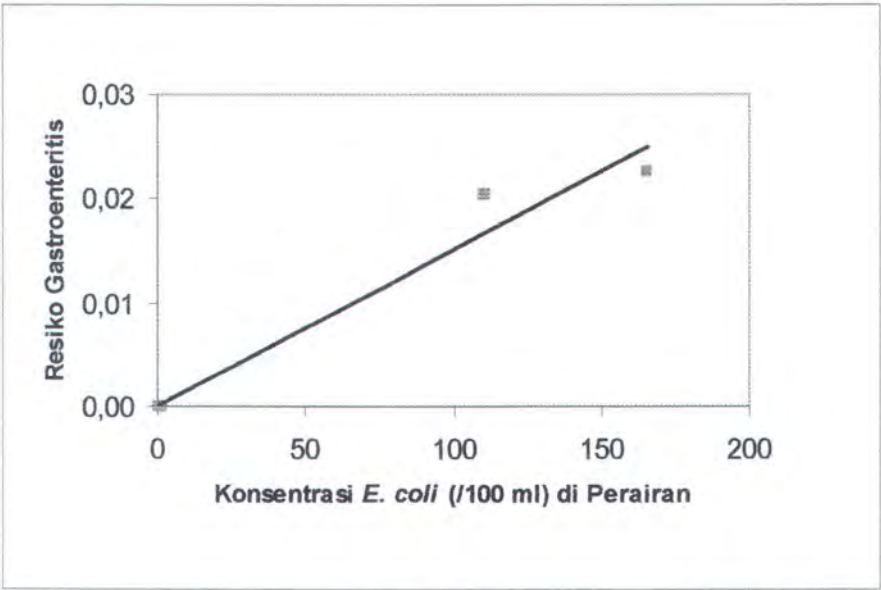
5.4 Perhitungan Resiko Gastroenteritis

Slanetz *et al.* (1965) dalam Sinton *et al.* (1993) menemukan bahwa perbandingan antara konsentrasi *coliform* dan *faecal streptococci* (disebut juga *enterococci* dalam Jawetz *et al.*, 1978) pada perairan laut diperkirakan sebesar 10 : 1 dan perbandingan antara *E. coli* dan *faecal streptococci* adalah 2,4 : 1.

Dari penjelasan tersebut, bahwa perbandingan antara *E. coli* dengan *faecal strptococcus* (*enterococci*) adalah 2,4 : 1, maka tingkat resiko *gastroenteritis* (GI) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1). Dari perhitungan ini diperoleh hasil resiko untuk *gastroenteritis* berkisar antara 0,0 hingga 0,023 (23 dari seribu orang).

Tabel 5-16. Resiko Gastroenteritis pada Wisatawan

Metode Pengolahan	Konsentrasi <i>E. coli</i> (/100 ml)	Konsentrasi <i>enterococci</i> (/100 ml)	Resiko GI
<i>Conventional primary</i>	165	69	0.023
<i>Alum primary</i>	110	46	0.020
<i>Lime primary</i>	0.55	0.23	0.0
<i>High-rate secondary</i>	1.10	0.46	0.0
<i>Conventional secondary</i>	1.10	0.46	0.0
<i>Secondary with filtration</i>	0.55	0.23	0.0



Gambar 5-6. Hubungan Konsentrasi *E. coli* di Perairan dengan Resiko Gastroenteritis pada Wisatawan

5.5 Analisis Biaya Resiko

Pada penelitian ini, analisis biaya resiko didasarkan pada analisis biaya kerusakan (*damage cost*), dengan parameter utama biaya resiko kesehatan akibat *gastroenteritis* pada wisatawan yang berkunjung ke Kepulauan Seribu. Biaya kerusakan yang lain yang dimasukkan sebagai parameter adalah biaya/nilai yang mungkin hilang (*opportunity cost*) karena penurunan jumlah wisatawan yang berkunjung ke daerah wisata Kepulauan Seribu akibat dampak pencemaran limbah yang terjadi.

5.5.1 Analisis Biaya Resiko Gastroenteritis

Biaya resiko *gastroenteritis* merupakan biaya pengobatan rata-rata yang dikeluarkan oleh penderita *gastroenteritis*. Seperti juga pada penanganan limbah, masalah biaya (*economic cost*) juga menjadi hal yang sangat penting. Biaya ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis/tingkat sakit, penggunaan obat-obatan dan konsultasi medis kepada dokter, waktu berhenti kerja ketika sakit atau waktu untuk mengurus anak yang sakit (Hellard *et al.*, 2003).

Penelitian Hellard *et al.* (2003) memperkirakan biaya *gastroenteritis*, baik biaya medis maupun non-medis, di Australia. Yang termasuk biaya medis adalah biaya penggunaan obat-obatan dan biaya konsultasi kepada dokter. Sedangkan biaya non-medis yang diperhitungkan adalah pendapatan yang hilang karena absen/berhenti bekerja karena sakit atau karena mengurus anak/anggota keluarga yang sedang sakit.

Di Indonesia belum dilakukan penelitian secara spesifik mengenai biaya yang harus dikeluarkan penderita *gastroenteritis*. Namun demikian, menurut keterangan dari Poli Penyakit Dalam RSUD Dr. Soetomo Surabaya, penderita yang diduga terkena *gastroenteritis* disarankan melakukan pemeriksaan awal yaitu pemeriksaan darah lengkap. Setelah itu dilakukan pengobatan sesuai dengan hasil pemeriksaan darah yang dilanjutkan dengan kontrol secara rutin. Apabila penderita belum/tidak sembuh, maka dilakukan pemeriksaan endoskopi (foto saluran pencernaan secara keseluruhan, termasuk juga hepar/hati) untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

Dari pengamatan yang telah dilakukan penulis, pada laboratorium rumah sakit milik pemerintah (RSUD Dr. Soetomo Surabaya), tes laboratorium untuk pendeteksian *gastroenteritis* terdiri dari pemeriksaan untuk melihat saluran pencernaan (UGI/*upper gastrointestinal*), pemeriksaan darah atau feces (Tabel 5-12). Karena data biaya *gastroenteritis* belum tersedia di Indonesia dan agar perhitungan lebih bersifat preventif, maka perhitungan didasarkan pada penelitian Hellard *et al.*, 2003.

Tabel 5-17. Retribusi Pemeriksaan Hipotesa Gastroenteritis

Uraian/Tindakan	Biaya (Rp)
Evaluasi Hapusan Darah Tepi	8000
Kreatinin	8000
Kadar Fibrinogen	58000
BUN	8000
SGOT	10000
SGPT	10000
Tinja Rutin	7000
Foto UGI	143000
Endoskopi	107500

Sumber: Laboratorium Patologi Klinik RSUD Dr. Soetomo Surabaya, 2002

Dalam penelitian Hellard *et al.*, untuk setiap kasus *gastroenteritis*, biaya konsultasi medis kepada dokter (termasuk biaya tes laboratorium) diestimasi sebesar Rp. 188.000,00. Dan biaya penggunaan obat-obatan menurut resep dokter diestimasi sebesar Rp. 50.000,00. Sedangkan untuk biaya non-medis, nilai yang hilang akibat berhenti bekerja karena sakit atau karena mengurus anak/anggota keluarga yang sedang sakit, diestimasi sebesar Rp. 65.000,00. Sehingga biaya total yang diperlukan adalah Rp. 303.000,00 untuk setiap kasus *gastroenteritis*.

Tabel 5-18. Parameter Biaya Gastroenteritis

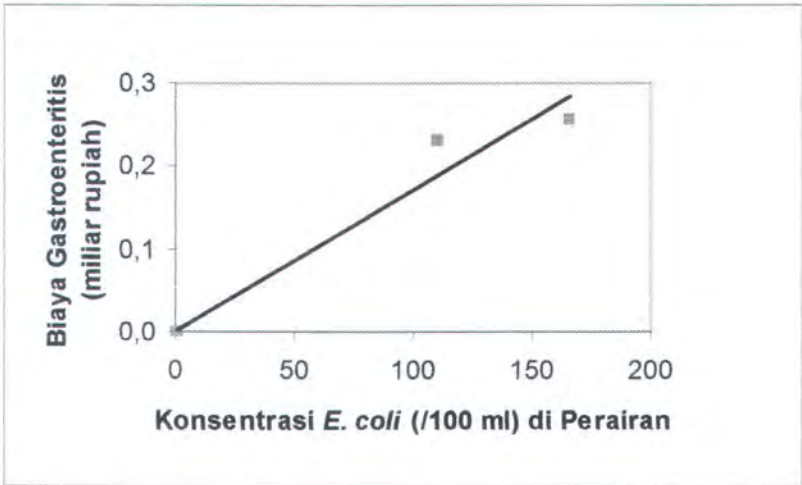
No.	Parameter	Biaya (AUS)	Biaya (Rp)
1.	Penggunaan obat-obatan	6.83	50000
2.	Konsultasi medis (termasuk tes lab)	26.10	188000
3.	Off-work	9.09	65000
Biaya Total		42.02	303000

Sumber: Hellard *et al.*, 2003

Hasil perhitungan sebelumnya menunjukkan bahwa jumlah rata-rata wisatawan /pengunjung Pulau Bidadari yang beresiko terkena *gastroenteritis* adalah 70521 orang per tahunnya. Dari jumlah tersebut, dapat diestimasi resiko *gastroenteritis* mencapai 1596 orang per tahunnya dan biaya yang harus dikeluarkan per tahunnya mencapai Rp. 0,255 miliar (Tabel 5-19).

Tabel 5-19. Estimasi Biaya Gastroenteritis

Metode Pengolahan	Konsentrasi <i>E. coli</i> (/100 ml)	Resiko GI	Jumlah Penderita (jiwa)	Biaya GI (miliar rupiah)
<i>Conventional primary</i>	165	0.023	1596	0.255
<i>Alum primary</i>	110	0.020	1444	0.231
<i>Lime primary</i>	0.55	0.0	0	0.0
<i>High-rate secondary</i>	1.10	0.0	0	0.0
<i>Conventional secondary</i>	1.10	0.0	0	0.0
<i>Secondary with filtration</i>	0.55	0.0	0	0.0



Gambar 5-7. Hubungan Konsentrasi *E. coli* di Perairan dengan Biaya yang Harus Dikeluarkan oleh Penderita Gastroenteritis

5.5.2 Analisis Biaya Resiko Penurunan Jumlah Wisatawan

Seperti dikutip Antara News (1 April 2005), selama tiga tahun terakhir, jumlah wisatawan ke Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu terus berkurang menurut data dari Dinas Pariwisata DKI Jakarta maupun Perhimpunan Usaha Wisata dan Resort Pulau Seribu (Perwita Pusri). Baik Dinas Pariwisata maupun Perwita Pusri menganggap kerusakan lingkungan merupakan salah satu penyebab turunnya minat kunjungan ke Kepulauan Seribu.

Menurut catatan pemerintah Kabupaten Kepulauan Seribu, wisatawan mancanegara dan wisatawan domestik yang datang ke Kepulauan Seribu terus menurun sejak 1997.

Penurunan ini terjadi karena berbagai macam hal seperti tingginya biaya wisata dan pencemaran lingkungan (Media Indonesia *online*, 29 Juni 2004).

Dari data Suku Dinas Pariwisata Kepulauan Seribu (2002), perkembangan jumlah wisatawan yang datang ke Kepulauan Seribu dari tahun ke tahun cenderung menurun. Pada Tabel 5-8 diperlihatkan bahwa jumlah wisatawan dari tahun 1995 sampai 2001 mengalami penurunan. Pada tahun 1996, jumlah wisatawan turun sebesar 6,82%, pada tahun 1997 turun 20,6%, pada tahun 1998 turun 16,04% dan pada tahun 1999 turun sebesar 1,35%. Sedangkan pada tahun 2000 mengalami kenaikan sebesar 0,8% dan pada tahun 2001 naik sebesar 0,27%. Namun pada tahun 2002 dan 2003 mengalami penurunan kembali sebesar 19,3% dan 18,1%. Jumlah kunjungan terakhir ini kurang dari setengah jumlah pengunjung pada tahun 1995.

Lebih dari 80% total wisatawan yang datang ke Kepulauan Seribu merupakan wisatawan nusantara. Apabila membandingkan jumlah wisatawan nusantara dan mancanegara mulai tahun 1997, kita dapat melihat bahwa jumlah wisatawan nusantara menurun tajam, sedangkan jumlah wisatawan mancanegara cenderung meningkat (Gambar 5-8).

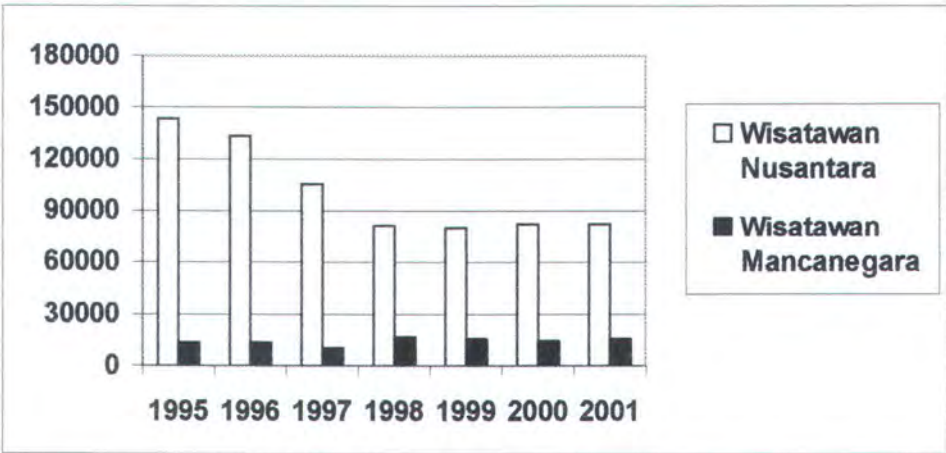
Akibatnya, satu per satu resort yang ada di Kepulauan Seribu akhirnya jatuh berguguran. Saat ini, hanya tinggal 9 pulau dari 11 pulau yang memiliki fasilitas resort yang dikelola untuk tempat wisata. Sembilan pulau itu adalah Pulau Bidadari, Pulau Ayer, Pulau Kotok Besar, Pulau Putri, Pulau Matahari, Pulau Bira Besar, Pulau Hantu Barat, Pulau Hantu Timur, dan Pulau Sepa (Media Indonesia *online*, 29 Juni 2004).

Lebih lanjut dikatakan bahwa jika Pemerintah Kabupaten Administratif Kepulauan Seribu tidak segera membenahi sektor pariwisata, bisa saja kesembilan pulau lainnya akan mengikuti jejak Pulau Kotok Timur dan Pulau Pelangi, yang terpaksa ditutup karena sepiya kunjungan wisata ke resort tersebut.

Tabel 5-20. Data Kunjungan Wisatawan ke Kepulauan Seribu
Tahun 1995 – 2003

No.	Periode	Wisatawan Nusantara	Wisatawan Mancanegara	Jumlah	Perubahan (%)	Wisatawan Nusantara (%)
1	1995	143.722	12.991	156.713	-	91,71
2	1996	133.219	12.799	146.018	-6,82	91,23
3	1997	105.683	10.252	115.935	-20,6	91,16
4	1998	81.125	16.215	97.340	-16,04	83,34
5	1999	80.105	15.918	96.023	-1,35	83,42
6	2000	81.887	14.901	96.788	0,8	84,60
7	2001	82.011	15.038	97.049	0,27	84,50
8	2002	-	-	78.324	-19,3	-
9	2003	-	-	64.182	-18,1	-

Sumber : Suku Dinas Pariwisata Kepulauan Seribu, 2002 (diolah)



Gambar 5-8. Komposisi Kunjungan Wisatawan ke Kepulauan Seribu, 1995-2001

Penurunan jumlah wisatawan ini akan mengurangi pemasukan/pendapatan yang seharusnya diperoleh Pemerintah Kabupaten Kepulauan Seribu dari pajak untuk setiap harga tanda masuk per orang ke Kepulauan Seribu. Estimasi ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.1). Agar hasil perhitungan lebih bersifat preventif /konservatif maka penurunan jumlah wisatawan menggunakan data tahun 1996-1997, dimana nilai tersebut merupakan nilai penurunan terbesar yang terjadi (20,6%). Sedangkan harga tanda masuk (HTM) ke Kepulauan Seribu (melalui dermaga Marina Ancol) bagi wisatawan adalah sebesar Rp.10.000,00 per orang.

a. Tingkat Pengaruh Pencemaran terhadap Penurunan Jumlah Wisatawan

Pariwisata adalah salah satu kegiatan ekonomi yang menonjol di Kepulauan Seribu di samping budidaya sumber daya laut dan pertambangan (Adriani, 2004). Karena itu, pariwisata mempunyai peluang yang besar untuk berkembang. Apalagi letaknya yang dekat dengan daratan DKI Jakarta dapat menarik penduduk Jakarta untuk menghabiskan liburan akhir minggunya di Kepulauan seribu. Selain itu daya tarik wisata yang dimiliki Kepulauan Seribu, seperti terumbu karang, akuarium bawah laut, penangkaran penyu, dan penginapan di tengah laut, dapat menjadi daya tarik tersendiri bagi wisatawan. Namun, degradasi lingkungan akibat pencemaran dan ulah wisatawan sendiri dan mahal biaya yang harus dikeluarkan untuk kegiatan wisata menjadi permasalahan dalam pengelolaan dan pengembangan pariwisata di Kepulauan Seribu.

Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh Noor (2003) bahwa hasil *Analisis Hierarchy Process* (AHP) dalam kerangka manfaat dan biaya, bahwa kawasan Kepulauan Seribu sebagai kawasan konservasi dan pariwisata, memberikan nilai perbandingan antara manfaat dan biaya/kerugian sebesar 0,49 artinya bisa dilihat dari prinsip '*benefit cost analysis*' mendekati nilai optimal $B/C \text{ ratio} = 1$, hal ini disebabkan karena memang dampak dari pengembangan pariwisata terhadap ekonomi dan sosial masyarakat memberi nilai positif, namun dampak dari segi lingkungan memberi nilai negatif karena sangat berpengaruh terhadap keberlangsungan keberadaan sumberdaya pesisir dan laut akibat kegiatan pariwisata (resort).

Dari uraian di atas, maka pencemaran lingkungan menjadi salah satu faktor yang signifikan dalam penurunan jumlah wisatawan di Kepulauan Seribu, selain tingginya biaya yang harus dikeluarkan untuk kegiatan wisata. Untuk itu, karena ada 2 faktor yang berpengaruh signifikan terhadap penurunan jumlah wisatawan maka pengaruh pencemaran lingkungan dalam penurunan jumlah wisatawan diasumsikan sebesar 50%, dengan deviasi 10% ke atas dan ke bawah.

b. Perhitungan *opportunity cost*

Seperti dipaparkan sebelumnya bahwa estimasi *opportunity cost* dihitung dengan menggunakan persamaan (3.1), dengan penurunan jumlah wisatawan menggunakan

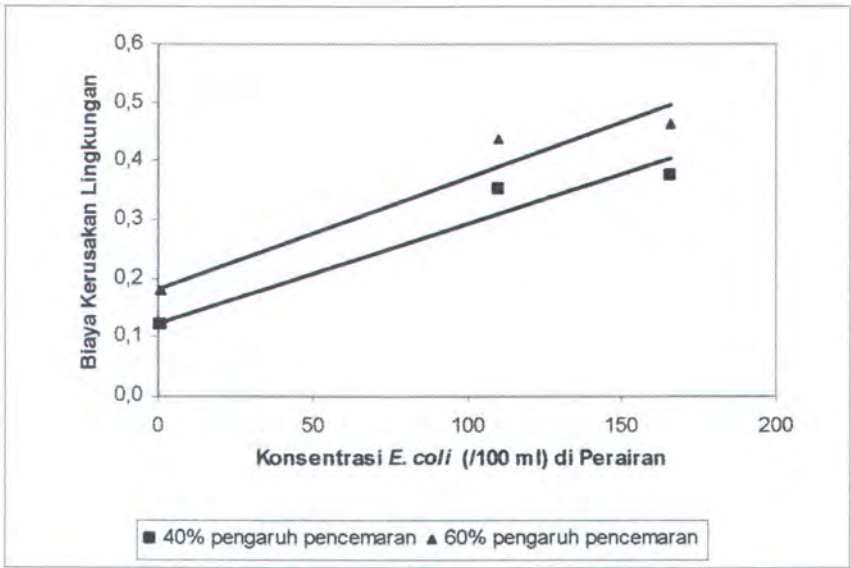
data tahun 1996-1997, dimana nilai tersebut merupakan nilai penurunan terbesar yang terjadi (20,6%), dengan jumlah 30.083 orang wisatawan, untuk mendapatkan hasil yang konservatif/preventif. Sedangkan harga tanda masuk (HTM) ke Kepulauan Seribu (melalui dermaga Marina Ancol) bagi wisatawan adalah sebesar Rp.10.000,00 per orang. Selanjutnya, perhitungan *opportunity cost* didasarkan pada asumsi bahwa pencemaran berpengaruh sebesar 40% hingga 60% pada penurunan pengunjung.

Opportunity cost ini selanjutnya diakumulasikan dengan biaya resiko *gastroenteritis*. Total kedua biaya tersebut, pada penelitian ini didefinisikan sebagai biaya kerusakan lingkungan (*damage cost*). Hubungan antara biaya kerusakan lingkungan ini dengan konsentrasi *E. coli* di perairan diilustrasikan pada Gambar 5-9, dengan memenuhi persamaan (5-3) untuk asumsi 40% pengaruh *opportunity cost*, dan persamaan (5-4) untuk asumsi 60% pengaruh *opportunity cost*.

$$y = 0,0017 x + 0,1221 \tag{5-3}$$

$$y = 0,0019 x + 0,1823 \tag{5-4}$$

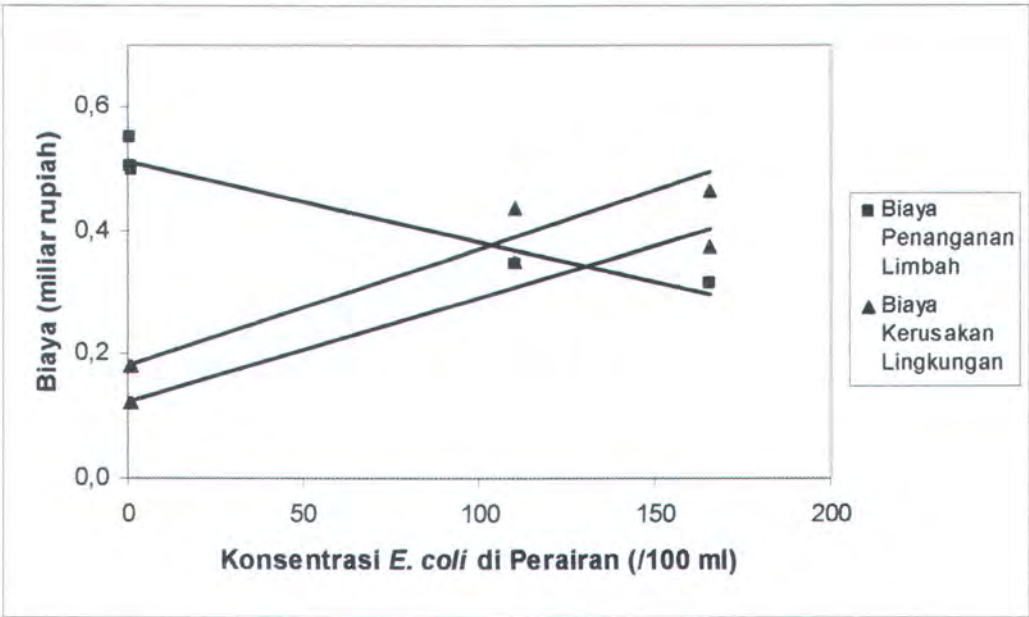
dengan $r^2 = 0,9677$



Gambar 5-9. Hubungan antara Konsentrasi *E. coli* di Perairan dengan Biaya Kerusakan Lingkungan di Kepulauan Seribu

5.6 Evaluasi Baku Mutu Air laut

Dalam penelitian ini, konsentrasi optimum didapatkan dari titik perpotongan antara dua buah grafik yang terbentuk berdasarkan analisis biaya penanganan limbah, yang terdiri dari biaya pengolahan limbah dan biaya konstruksi *outfall*; dan biaya kerusakan lingkungan (*damage cost*) yang terdiri dari biaya resiko *gastroenteritis* dan biaya (*cost*) akibat penurunan jumlah wisatawan di Kepulauan Seribu.



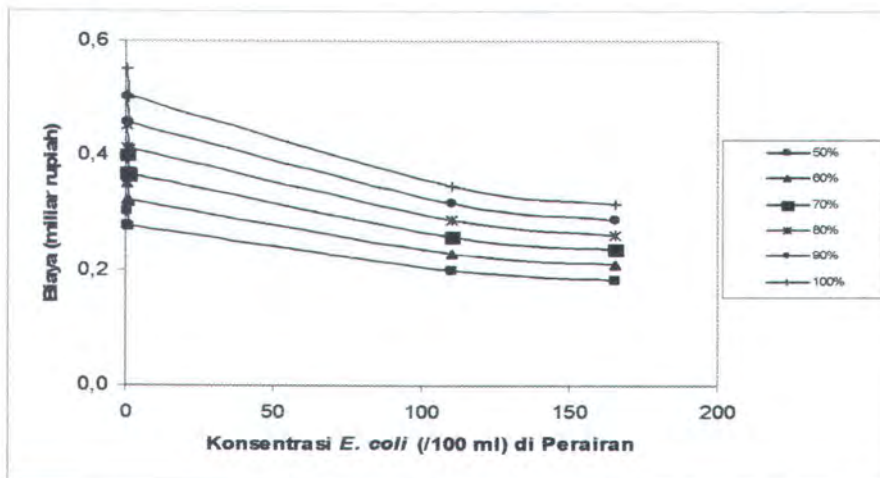
Gambar 5-10. Kondisi Keseimbangan antara Biaya Penanganan Limbah dan Biaya Kerusakan Lingkungan

Titik perpotongan diperoleh dengan melakukan substitusi persamaan yang diperoleh dari hasil analisis biaya penanganan limbah dan biaya kerusakan lingkungan (*damage cost*) yang terdiri dari biaya resiko *gastroenteritis* dan biaya (*cost*) akibat penurunan jumlah wisatawan di Kepulauan Seribu. Substitusi dilakukan terhadap persamaan (5.2) dengan persamaan (5.3) dan diperoleh nilai $x = 130$.

Substitusi juga dilakukan terhadap persamaan (5.2) dengan persamaan (5.4) dan diperoleh nilai sebesar $x = 103$. Hasil ini menunjukkan bahwa konsentrasi optimum mikroorganisme patogen dengan indikator *E. coli* di perairan Kepulauan Seribu yang diperoleh berdasarkan analisis antara biaya penanganan limbah dan biaya kerusakan lingkungan (*damage cost*) yang terdiri dari biaya resiko *gastroenteritis* dan biaya (*cost*)

akibat penurunan jumlah wisatawan adalah berkisar antara 103/100 ml hingga 130/100 ml. Hasil ini tidak melebihi baku mutu yang telah ditetapkan saat ini, yaitu sebesar 200/100 ml (Kepmen LH No. 51 Tahun 2004).

Konsentrasi optimum di atas didapatkan dari asumsi 100% wisatawan menjadikan Pulau Bidadari sebagai tujuan wisatanya di samping pulau lain. Untuk asumsi 50% hingga 90% wisatawan menjadikan Pulau Bidadari sebagai tujuan wisatanya di samping pulau lain, dapat dilihat pada gambar (5-11). Gambar tersebut menunjukkan bahwa jumlah pengunjung berpengaruh terhadap volume limbah yang dihasilkan di Pulau Bidadari dan konsentrasi *E.coli* di perairan. Selanjutnya, volume limbah ini akan berpengaruh terhadap biaya penanganan limbah dan biaya resiko secara keseluruhan.



Gambar 5-11. Pengaruh Jumlah Wisatawan terhadap Konsentrasi *E. coli* di Perairan dan Biaya Penanganan Limbah

Menurut PP RI No. 82 Tahun 2001, pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air diselenggarakan secara terpadu dengan pendekatan ekosistem. Demikian juga dalam penetapan baku mutu air sebagai salah satu sarana pengendalian pencemaran dan atau kerusakan lingkungan laut yang bertujuan untuk mencegah atau mengurangi turunnya mutu laut dan atau rusaknya sumber daya laut.

Pengaruh pencemaran terhadap ekosistem, seperti apabila *sewage* terdilusi tidak sempurna, maka dapat menyebabkan efek lokal pada komunitas laut berupa pengurangan DO (*dissolved oxygen*) hingga mendekati nol atau peningkatan nutrisi yang dapat menyebabkan *blooming*. Selain itu, pengaruh terhadap ekosistem ini dapat berkembang dalam banyak hal. Dari segi estetika misalnya, tidak seorang pun akan senang melihat perairan yang berwarna keruh atau sampah-sampah yang mengapung di permukaan laut.

Namun, pencemaran yang terjadi tidak hanya berpengaruh terhadap ekosistem di lokasi terjadinya pencemaran, melainkan juga pada kesehatan publik. Pengaruh pada kesehatan publik dapat terjadi karena penyebaran penyakit infeksi melalui akumulasi kontaminan pada makanan laut untuk konsumsi manusia. Sedangkan pada perairan untuk rekreasi, infeksi penyakit pada pengguna perairan dapat terjadi melalui masuknya air laut, meskipun dalam jumlah sedikit, melalui hidung atau mulut sehingga akhirnya sampai ke saluran pencernaan atau masuknya air laut melalui kulit manusia.

Persyaratan kualitas perairan dirancang untuk melawan potensi penyakit infeksi pada penggunaan perairan, khususnya kontaminasi air dengan mikroorganisme patogen yang ada di limbah manusia (feses), dan untuk perawatan sumber daya perairan tersebut (Cabelli, 1983). Selain itu, resiko potensi penyakit terhadap manusia harus tetap diperhitungkan dalam penetapan persyaratan/standar kualitas suatu perairan.

Beberapa studi menemukan bahwa kebanyakan orang akan lebih dapat menerima tingkat resiko yang lebih tinggi dalam aktivitas yang dapat mereka kontrol langsung, seperti misalnya ketika melakukan ski, atau dari aktivitas yang memperoleh keuntungan (*benefit*) langsung, seperti mengendarai mobil, daripada menerima resiko dari kegiatan yang tidak menerima keuntungan langsung, seperti pembangunan sistem pembuangan limbah di dekat lokasi tempat tinggal (Rubin, 2001).

Persepsi manusia atas resiko mengandung muatan psikologis tertentu, terutama pada unsur konsekuensinya, dan akan menentukan tingkat penerimaannya atas resiko

tersebut (Rosyid dan Mukhtasor, 2002). Seperti misalnya resiko penyakit *gastroenteritis* atau penyakit kulit yang dianggap lebih bisa diterima dibandingkan dengan resiko karsinogen (penyebab kanker). Menurut Rosyid dan Mukhtasor (2002), kenyataan di atas disebabkan terutama karena perbedaan *exposure* atas bahaya yang berbeda, dan atas informasi yang diterima melalui berbagai media massa, sehingga timbul persepsi atas resiko yang berbeda.

Padahal, setiap resiko yang terjadi akan menimbulkan konsekuensi. Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya bahwa resiko *gastroenteritis* (penyakit saluran pencernaan) menimbulkan biaya (*cost*) yang tidak kecil dikarenakan jumlah penderita yang beresiko terkena *gastroenteritis* juga tidak kecil. Selain itu ternyata pencemaran pada perairan yang digunakan sebagai fasilitas rekreasi dan pariwisata juga beresiko terhadap penurunan jumlah wisatawan.

Hal ini disebabkan karena industri enggan melakukan pengolahan limbah hingga limbah yang dibuang mengandung zat-zat berbahaya dengan jumlah yang sangat kecil. Biaya peduli lingkungan yang dianggap mahal oleh industri ini sebenarnya justru 'murah', karena biaya lingkungan yang dibebankan pada industri adalah tidak murni. Karena sebagian dari beban lingkungan tersebut ternyata ditanggung oleh masyarakat, dalam hal ini wisatawan pengunjung daerah wisata. Industri yang tidak bertanggung jawab cenderung membagi sebagian beban produksinya kepada masyarakat semata-mata demi menekan biaya produksi.

Apabila kondisi ini dibiarkan terus-menerus tanpa upaya pemulihan, juga akan mengandung ongkos (biaya), mengingat perairan yang tercemar akan menimbulkan biaya untuk menanggulangi akibat atau dampak negatif yang ditimbulkan oleh perairan yang tercemar. Untuk itu evaluasi penyusunan sebuah perencanaan kebijakan yang komprehensif, yang dipaparkan dalam penelitian ini, memperhatikan aspek resiko kesehatan dan biaya pengolahan limbah dalam menetapkan nilai baku mutu air laut untuk suatu perairan.

Baku mutu yang terlalu ketat selama ini dianggap akan menurunkan peluang investasi bagi industri sehingga dikhawatirkan berpengaruh terhadap sektor perekonomian. Namun dari analisis yang telah dilakukan pada bab sebelumnya menunjukkan bahwa baku mutu yang terlalu longgar, dalam arti nilai kontaminan yang relatif tinggi di perairan, akan menyebabkan pencemaran yang terjadi sulit dikendalikan dan akan mempengaruhi turunnya jumlah wisatawan dan pada akhirnya berpengaruh terhadap dunia usaha dan perekonomian secara keseluruhan.

Dengan demikian, usaha penanganan pencemaran air di daerah wisata Kepulauan Seribu dapat dimulai dengan evaluasi baku mutu air laut yang digunakan. Yang nantinya, dapat direncanakan lebih lanjut tindakan yang seharusnya dilakukan untuk mencapai nilai tersebut, seperti pelacakan *point-source*, pengawasan terhadap industri pariwisata, dan lain-lain, untuk terjaganya kualitas perairan yang baik.

Selain itu, dengan evaluasi baku mutu air laut, nilai optimum yang dihasilkan dapat juga digunakan untuk mengidentifikasi kontaminan lebih lanjut sehingga nantinya dapat dilakukan evaluasi terhadap persyaratan/standar kualitas effluen dari pembuangan industri/hotel pada lingkungan laut.

Dalam penelitian ini, untuk mencapai kondisi optimum seperti yang dipaparkan dalam penjelasan sebelumnya, maka konsentrasi *E. coli* maksimum pada effluen yang direkomendasikan berdasarkan hasil evaluasi ini adalah sebesar 965/100 ml. Oleh karena itu, dengan konsentrasi *E. coli* pada influen sebesar 4800/100 ml, maka industri pariwisata harus mereduksi limbahnya minimal hingga 80% dengan biaya sekitar 0,347 miliar rupiah per tahunnya untuk volume limbah 87000 liter/hari.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Baku mutu air laut yang digunakan di Kepulauan Seribu berdasarkan Kepmen LH No. 51 tahun 2004 dapat lebih dketatkan lagi untuk mengurangi resiko yang terjadi akibat pencemaran. Baku mutu air laut yang terlalu longgar, selain menimbulkan efek yang membahayakan kesehatan manusia, juga berpengaruh terhadap kondisi pariwisata seperti penurunan jumlah wisatawan yang nantinya akan mempengaruhi dunia usaha dan lebih lanjut akan berpengaruh terhadap perekonomian lokal secara keseluruhan.
2. Resiko kesehatan pada pengunjung daerah wisata Kepulauan Seribu diperhitungkan mencapai 0,023 dengan jumlah penderita mencapai 1596 jiwa per tahunnya..
3. Biaya rata-rata yang harus dikeluarkan akibat *gastroenteritis* diperkirakan mencapai 0,312 miliar rupiah dan biaya yang hilang akibat penurunan jumlah wisatawan adalah sebesar 0,18 miliar rupiah. Sedangkan biaya pengolahan dan pembuangan limbah untuk volume limbah yang dihasilkan sebesar 87000 liter/hari berkisar antara 0,314 miliar rupah hingga 0,552 miliar rupiah per tahunnya.
4. Konsentrasi optimum mikroorganisme patogen dengan indikator *E. coli* di perairan berdasarkan optimasi biaya penanganan limbah dan biaya resiko kesehatan serta biaya akibat penurunan jumlah wisatawan yang direkomendasikan adalah 103/100 ml hingga 130/100 ml. Untuk mencapai kondisi tersebut, maka konsentrasi *E. coli* maksimum pada effluen yang direkomendasikan berdasarkan hasil evaluasi ini adalah sebesar 965/100 ml. Oleh karena itu, dengan konsentrasi *E. coli* pada influen sebesar 4800/100 ml, maka industri pariwisata harus mereduksi limbahnya minimal hingga 80% dengan biaya sekitar 0,347 miliar rupiah per tahunnya untuk volume limbah 87000 liter/hari.

6.2 Saran

1. Konsentrasi optimum mikroorganisme patogen dengan indikator *E. coli* di perairan yang dihasilkan dari evaluasi ini tidak menjamin keadaan yang benar-benar aman (*“complete safety”*) bagi pengguna perairan. Oleh karena itu, usaha untuk meminimalkan resiko terinfeksi penyakit terhadap manusia (*human being*) harus selalu dilakukan dan ditingkatkan dari waktu ke waktu.
2. Penerapan metode evaluasi baku mutu air laut seperti yang telah dipaparkan dalam laporan ini, sangat dipengaruhi oleh ketersediaan data yang berasal dari instansi/pihak-pihak yang terkait. Oleh karena itu, proses pemantauan kualitas air, kualitas air buangan/limbah serta kesehatan masyarakat harus senantiasa dilakukan.
3. Untuk mendapatkan hasil evaluasi yang optimal, sangat diperlukan koordinasi antara berbagai *stakeholders*, baik pemerintah, dunia usaha, Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM), media massa dan masyarakat pada umumnya.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Adisubrata, W. 2004. **Selamatkan Kepulauan Seribu !**. Sekolah Tinggi Pariwisata Bandung. <URL:<http://www.tourismtableofcontentspage/0505/0674.htm>>.
- Adriani, Y. 2004. **Pariwisata Kepulauan Seribu: Potensi Pengembangan dan Permasalahannya**. Pusat Penelitian Kepariwisata. Institut Teknologi Bandung.
- Alaerts, G. dan Santika. Sri Simestri, editor. 1984. **Metoda Penelitian Air**. Usaha Nasional, Surabaya.
- Allen, J. H. dan Sharp, J. J. 1987. Environmental Considerations for Ocean Outfalls and Land-based Treatment Plants. **Canada Journal Civil Engineering**. 14:363-371.
- Anonim, 1995. Neraca Kualitas Lingkungan Hidup Daerah Tahun 1995. Pemerintah Propinsi Daerah Tingkat I Jawa Timur.
- Berman, J. 1 Juli 2003. **Heading Off The Dangers of Acute Gastroenteritis**. <URL:<http://www.contemporarypediatrics.com/contpeds>>
- Brooks, N. H. 1983. Evaluation of Key Issues and Alternative Strategies. **Ocean Disposal of Municipal Wastewater: Impacts on The Coastal Environment**, Vol 1: 707-759.
- Buchori, dkk. 2001. **Kimia Lingkungan**. Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi.
- Cabelli, V. J., Levin, M. A., Dufour, A. P. 1983. Estuarine Pollution: Infectious Diseases. **Ocean Disposal of Municipal Wastewater: Impacts on The Coastal Environment**, Vol 1: 519-576.
- Contoh Rencana Strategis Pengelolaan Terpadu Teluk Balikpapan dan Peta-peta Pilihan. 2003. Seri Pengelolaan Wilayah Pesisir Terpadu. USAID-Indonesia Coastal Resources Management Project. Koleksi Dokumen Proyek Pesisir 1997-2003.
- Dahuri, R., Rais, J., Ginting, S. P., Sitepu, M. J. 2001. **Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan secara Terpadu**. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Economopoulou, M.A., Economopoulou, A. A., Economopoulou, A. P. 2003. Sensitivity Analysis and Comparative Performance of Outfalls with Single Buoyant Plumes. **Journal of Environmental Engineering**: 169-178.

- Fakhrizal. 18 Juni 2004. **Mewaspada Bahaya Limbah Domestik di Kali Mas**. <URL:<http://www.ecoton.or.id/>>.
- Fewtrell, L. Dan Jones, F. 1990. Microbiological Aspects and Possible Health Risks of Recreational Water. **Recreational Water Quality Management**, Vol 1:71-87. Ellis Hoorwood Limited, England.
- Hartoyo. 2003. Studi Optimasi Biaya Pengolahan Limbah Logam Berat dan Biaya Resiko Kontaminasi Karsinogen di Wilayah Pesisir Kenjeran. **Tesis**. Program Pasca Sarjana Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Hellard ME, Sinclair MI, Harris AH, Kirk M dan Fairley CK. 2003. The Cost of Community Gastroenteritis. **Journal of Gastroenterology and Hepatology**, 18:322-328.
- Jawetz E., Melnick J. L., Adelberg E. A. 1986. **Review of Medical Microbiology**. 16th edition. Departement of Microbiology. Faculty of Medicine. University of Pristina.
- Kay, D. dan Wyer, M. 1990. Recent Epidemiological Research Leading to Standards. **Recreational Water Quality Management**, Vol 1:129-153. Ellis Hoorwood Limited, England.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: 51 Tahun 2004. Tentang Baku Mutu Air Laut. Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- Kerusakan Lingkungan Sebabkan Turunnya Wisatawan Kepulauan Seribu**, 1 April 2005. <URL:<http://www.antara.co.id/seenws/?id=6655>>
- Kay, Robert dan Alder, Jackie. 1999. **Coastal Planning and Management**. E & FN Spon, London.
- Lee, J. H. W. dan Jirka, G. H. 1994. Waste Disposal in The Ocean. **Water Quality and Its Control**: 193-240. A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- Manik. 2003. **Mikroorganisme Flora Normal pada Tubuh Manusia**. Materi Kuliah. Bakteriologi. Program Studi Analis Medis UNAIR, Surabaya.
- Mason, C. F. 1992. **Biology of Freshwater Pollution**. 2nd edition. John Wiley and Sons Inc, New York.
- Metcalf & Eddy, Inc. 2003. Revised by: Tchobanoglous, G., Burton F.L., Stensel, H. D. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**, 4th edition, McGraw Hill International Edition.

- Mueller, J. A. dan Anderson, A. R. 1983. Municipal Sewage Systems. **Ocean Disposal of Municipal Wastewater: Impacts on The Coastal Environment**, Vol 1: 37-92.
- Mukhtasor. 2003. **Dampak Penerapan Teknologi Kelautan**. Materi Kuliah. Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Surabaya, Surabaya.
- Mukhtasor dan Hartoyo. 2004. "Metode Penentuan Nilai Baku Mutu Perairan Pantai untuk Logam Merkuri dan Kadmium Berbasis Resiko Kesehatan dan Biaya". **Jurnal Teknologi Kelautan**, Vol. 8, No. 1 (Januari): 23-32.
- Munawari, Haldin. 2003. Penanganan Limbah Domestik di Daerah Kepulauan Seribu Jakarta. **Tesis**. Program Pasca Sarjana Program Studi Teknik Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Nemerow, Nelson L. 1995. **Zero Pollution Industry: Waste Minimization Through Industrial Complexes**. John Wiley and Sons Inc, Kanada.
- Noor, Ariadi. 2003. Analisis Kebijakan Pengembangan Marikultur di Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu Propinsi DKI Jakarta. **Studi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan**. Program Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Pathogenic E. coli**, 2002, Kenneth Todar University of Wisconsin-Madison Departement of Bacteriology.<URL:<http://www.textbookofbacteriology.net/>>
- Pemerintah Propinsi DKI Jakarta. 2001. Pengelolaan Laut Lestari. Pendataan dan Pemetaan Potensi Sumberdaya Kepulauan Seribu dan Pesisir Teluk Jakarta. **Laporan Akhir**. Kerjasama Pemerintah Propinsi DKI Jakarta Badan Pengendali Dampak Lingkungan Daerah dengan Lembaga Afiliasi Penelitian dan Institut Teknologi Bandung.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran dan/atau Perusakan Laut. 1999. Presiden Republik Indonesia.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. 2001. Presiden Republik Indonesia.
- Retribusi Pemeriksaan Laboratorium Patologi Klinik. 2002. Instalasi Patologi Klinik. Rumah Sakit Umum Daerah Dokter Soetomo. Pemerintah Propinsi Daerah Tingkat I Jawa Timur.

- Roberts P. J. W., Singh V. P. dan Hager W. H. editor. 1996. **Sea Outfalls. Environmental Hydraulics**: 63-110. Kluwer Academic Publishers, Netherland.
- Rosyid, D. M. dan Mukhtasor. 2002. **Pengantar Rekayasa Keandalan**. Diklat Kuliah. Jurusan Teknik Kelautan. Fakultas Teknologi Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rubin, E. S. 2001. **Introduction to Engineering and The Environment**. 1th edition. McGraw Hill Companies Inc, New York.
- Saries W. B., Frazier W. C., Wilson J. B., Knight S. G. 1956. **Microbiology, General and Applied**, second edition. Harper & Brothers, New York.
- Sharp, J. J. 1990. The Use of Ocean Outfalls for effluent Disposal in Small Communities and Developing Countries. **Water International**:35-43.
- Sinton, W., A. M. Donnison, C. M. Hastie. 1993. Faecal streptococci as Faecal Pollution Indicators: a Review. Part II: Sanitary Significance, Survival, and Use. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**. Vol. 27:117-137.
- Steel E. W. dan McGhee T. J. 1979. **Water Supply and Sewerage**. 5th edition. McGraw-Hill Book Company, Singapura. International Student Edition.
- Supriyanto, Agus, dkk. 1993. **Uji Bakteriologis Koli Fekal pada Air Instalasi Pengolahan Air Minum PDAM Karang Pilang**. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Lembaga Penelitian Universitas Airlangga.
- Taman Nasional Kepulauan Seribu** <URL:http://www.dephut.go.id/INFORMASI/TN%20INDO-ENGLISH/tn_kepulauanseribu.htm>
- Undang-undang No. 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- USEPA. 2002. **Onsite Wastewater Treatment Systems Manual**. (EPA/625/R-00/008)
- Wardhana, Wisnu A.. 1995. **Dampak Pencemaran Lingkungan**, Edisi Pertama. Andi Offset, Yogyakarta.
- Wisata Kepulauan Seribu sebagai Pulau Kosong**. <URL:http://media_indonesia_online/net/0604/1727174.htm>.





LAMPIRAN

Lampiran 1. Laju Inflasi di Amerika Serikat

Table 13.4 Implicit price deflator index for the United States.

Year	Price Deflator (1992=100)	Annual Percentage Change	Year	Price Deflator (1992=100)	Annual Percentage Change
1960	23.3	1.39	1980	60.4	9.23
1961	23.6	1.16	1981	65.9	9.43
1962	23.9	1.27	1982	70.1	6.30
1963	24.2	1.17	1983	73.1	4.26
1964	24.5	1.49	1984	75.9	3.78
1965	25.0	1.96	1985	78.4	3.42
1966	25.7	2.84	1986	80.6	2.61
1967	26.5	3.19	1987	83.1	3.06
1968	27.7	4.38	1988	86.1	3.65
1969	29.0	4.70	1989	89.7	4.22
1970	30.6	5.32	1990	93.6	4.32
1971	32.2	5.18	1991	97.3	3.95
1972	33.5	4.24	1992	100.0	2.74
1973	35.4	5.62	1993	102.6	2.63
1974	38.5	8.98	1994	104.9	2.39
1975	42.2	9.41	1995	107.6	2.29
1976	44.6	5.87	1996	109.7	1.87
1977	47.4	6.46	1997	111.5	1.84
1978	51.0	7.29	1998	112.8	1.17
1979	55.3	8.52	1999	114.4	1.45

Source: USDOE, 1999; USDOC, 2000.

Lampiran 2. Summary Report CORMIX-GI versi 4.3

XX

CORMIX MIXING ZONE EXPERT SYSTEM

CORMIX-GI Version 4.3E

HYDRO1:Version-4.3 April,2004

SITE NAME/LABEL:

DESIGN CASE:

FILE NAME: UNSET.prd

Using subsystem CORMIX1: Submerged Single Port Discharges

Start of session: 07/19/2005--23:38:33

SUMMARY OF INPUT DATA:

AMBIENT PARAMETERS:

Cross-section		= unbounded
Average depth	HA	= 5 m
Depth at discharge	HD	= 4.85 m
Ambient velocity	UA	= 0.1 m/s
Darcy-Weisbach friction factor	F	= 0.0184
Calculated from Manning's n		= 0.02
Wind velocity	UW	= 2 m/s
Stratification Type	STRCND	= U
Surface density	RHOAS	= 1027 kg/m ³
Bottom density	RHOAB	= 1027 kg/m ³

DISCHARGE PARAMETERS: Submerged Single Port Discharge

Nearest bank		= left
Distance to bank	DISTB	= 20 m
Port diameter	DO	= 0.2 m
Port cross-sectional area	AO	= 0.0314 m ²
Discharge velocity	UO	= 0.03 m/s
Discharge flowrate	QO	= 0.001 m ³ /s

Discharge port height	HO	= 0.15 m
Vertical discharge angle	THETA	= 5 deg
Horizontal discharge angle	SIGMA	= 90 deg
Discharge density	RHO0	= 999 kg/m ³
Density difference	DRHO	= 28 kg/m ³
Buoyant acceleration	GPO	= 0.2674 m/s ²
Discharge concentration	CO	= 1440 bacteria-counts
Surface heat exchange coeff.	KS	= 0 m/s
Coefficient of decay	KD	= 0.000001 /s

DISCHARGE/ENVIRONMENT LENGTH SCALES:

LQ = 0.18 m	Lm = 56.42 m	Lb = 26736.73 m
LM = 2.59 m	Lm' = 99999 m	Lb' = 99999 m

NON-DIMENSIONAL PARAMETERS:

Port densimetric Froude number	FRO	= 13.77
Velocity ratio	R	= 318.31

MIXING ZONE / TOXIC DILUTION ZONE / AREA OF INTEREST PARAMETERS:

Toxic discharge	= no
Water quality standard specified	= yes
Water quality standard	CSTD = 200 bacteria-counts
Regulatory mixing zone	= no
Region of interest	= 1000 m downstream

HYDRODYNAMIC CLASSIFICATION:

```

+-----+
| FLOW CLASS  = H4-90A4 |
+-----+

```

This flow configuration applies to a layer corresponding to the full water depth at the discharge site.

Applicable layer depth = water depth = 5 m

MIXING ZONE EVALUATION (hydrodynamic and regulatory summary):

X-Y-Z Coordinate system:

Origin is located at the bottom below the port center:

0 m from the left bank/shore.

Number of display steps NSTEP = 10 per module.

NEAR-FIELD REGION (NFR) CONDITIONS :

Note: The NFR is the zone of strong initial mixing. It has no regulatory implication. However, this information may be useful for the discharge designer because the mixing in the NFR is usually sensitive to the discharge design conditions.

Pollutant concentration at edge of NFR = 165.268400 bacteria-counts

Dilution at edge of NFR = 8.7

NFR Location: x = 1706.67 m

(centerline coordinates) y = 8.56 m

z = 4.19 m

NFR plume dimensions: half-width = 3526.46 m

thickness = 0.04 m

Buoyancy assessment:

The effluent density is less than the surrounding ambient water density at the discharge level.

Therefore, the effluent is POSITIVELY BUOYANT and will tend to rise towards the surface.

Benthic attachment:

For the present combination of discharge and ambient conditions, the discharge plume becomes attached to the channel bottom within the NFR immediately following the efflux. High benthic concentrations may occur.

UPSTREAM INTRUSION SUMMARY:

Plume exhibits upstream intrusion due to low ambient velocity or strong discharge buoyancy.

Intrusion length = 10159.96 m

Intrusion stagnation point = 0 m

Intrusion thickness = 0 m

Intrusion half width at impingement = 0 m

Intrusion half thickness at impingement = 0 m

The REGION OF INTEREST (ROI) specification occurs before the near-field mixing (NFR) regime has been completed. Specification of ROI is highly restrictive.

PLUME BANK CONTACT SUMMARY:

Plume in unbounded section contacts nearest bank at 0 m downstream.

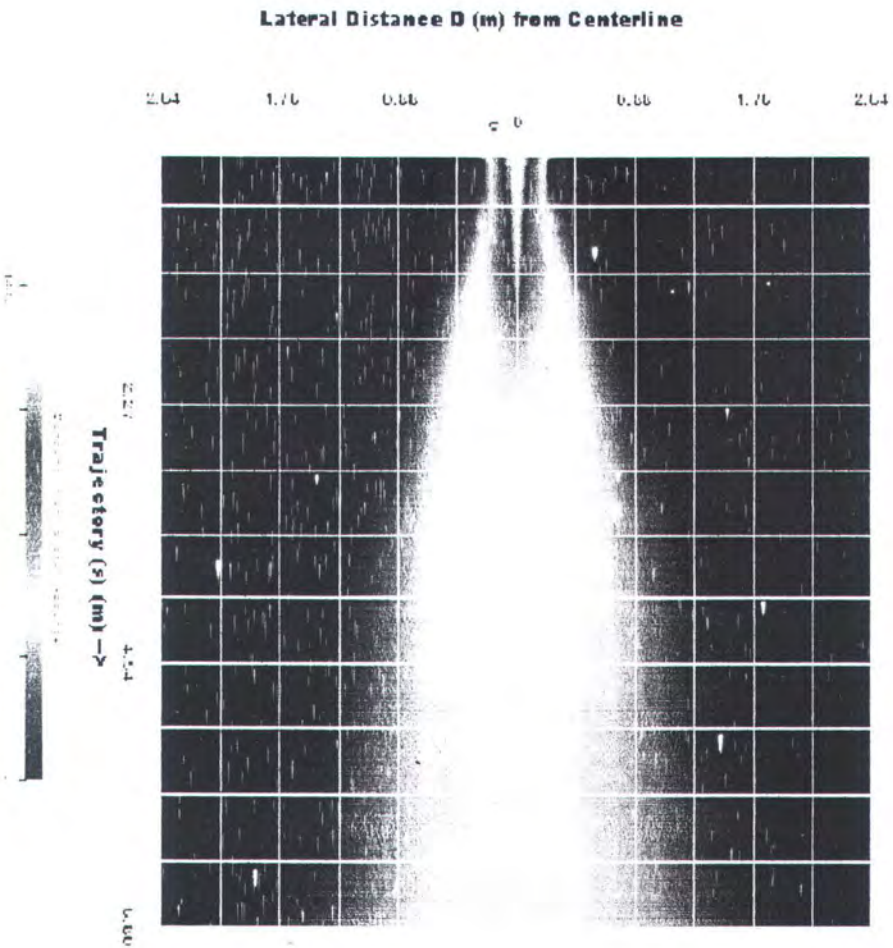
***** TOXIC DILUTION ZONE SUMMARY *****

No TDZ was specified for this simulation.

Run: Sun Jul 17 14:45:03 2005

Flow Class: H1

Concentration Profile - Trajectory (s) vs. Lateral Distance D (m) from Plume Centerline



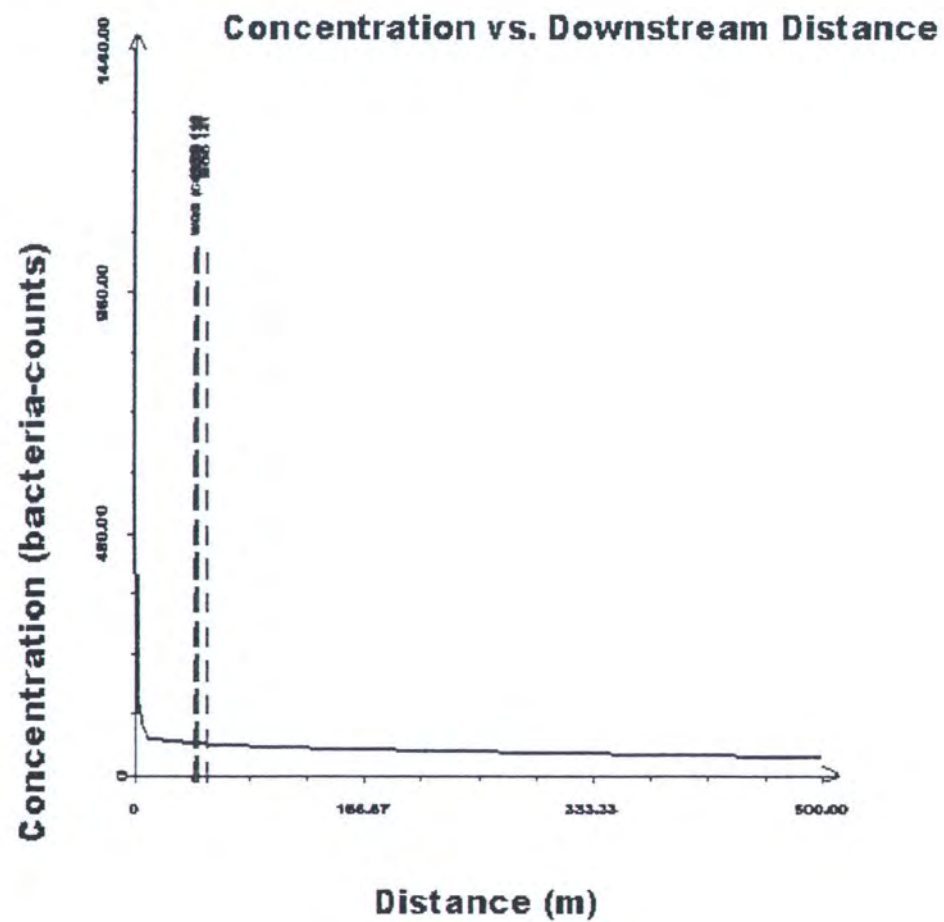
Distortion D:X = 0.440 : 0.567
KURT: Click to change scale values. Currently: 2.000 : 1.000 (Y:0)

pulau seribu

Time of Run: Tue Jul 26 20:12:45 2005

maulid\maulid.prd

Flow Class: H4-90A41

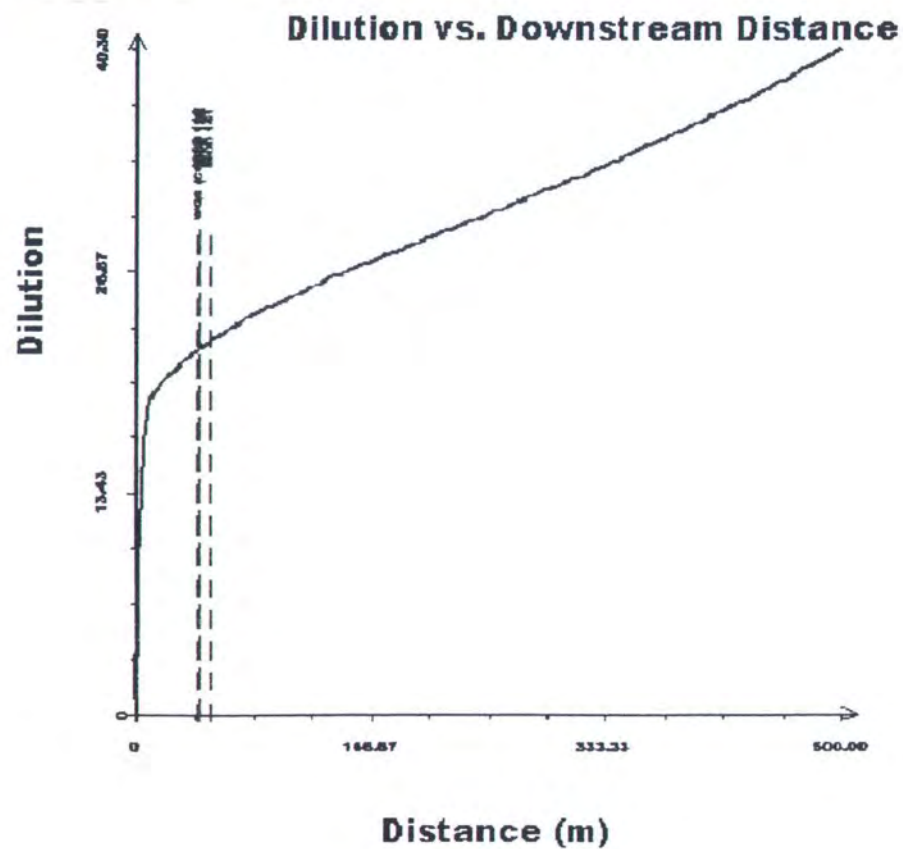


pulau seribu

Time of Run: Tue Jul 26 20:12:45 2005

maulid\maulid.prd

Flow Class: H4-90A41



ocean

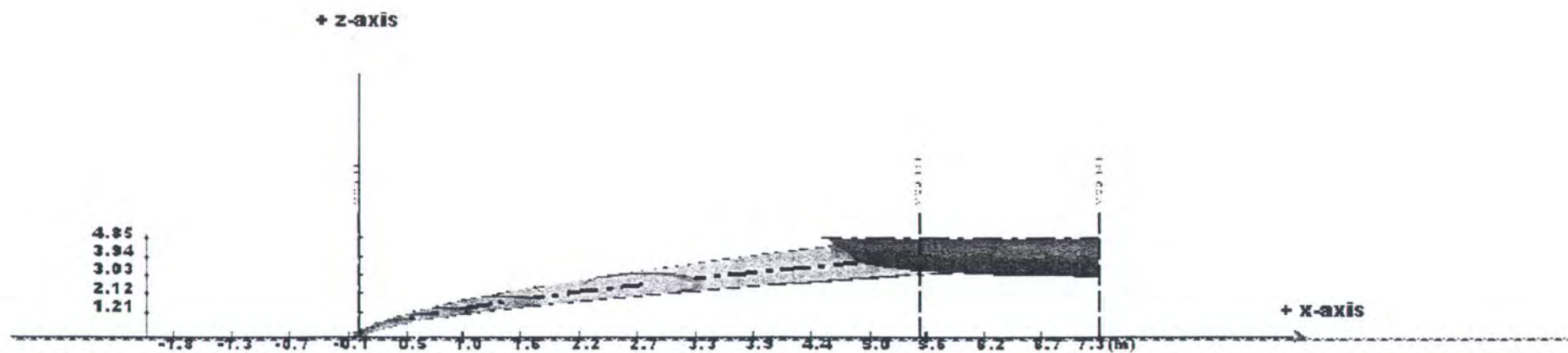
pulau Seribu

Time of Run: Sun Jul 17 14:45:03 2005

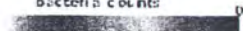
Cormix1 Simulation

MAULID.prd

Flow Class: H1



Concentration
bacteria counts



Distortion Scale:

Y:X= 2.624 Z:X= 0.205

Reactive Mixing Zone
Mixing boundary
Plume Centerline